

Serviços Espeleossistêmicos: como caracterizar as cavernas sobre o ponto de vista da Economia Ecológica e dos Serviços Geossistêmicos?

Spelecosystemic Services: how to characterize caves from the point of view of Ecological Economics and Geosystemic Services?

Daniel De Stefano Menin¹ , Denise de La Corte Bacci² 

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

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

Recebido em 5 de dezembro de 2022; aceito em 18 de julho de 2023.

Resumo

Os benefícios diretos e indiretos que os serviços ecossistêmicos promovidos pela natureza prestam ao ser humano podem ser de inúmeras ordens: desde a água que é utilizada para diversos fins, até a biodiversidade, os recursos e os minérios que sustentaram a história evolutiva das civilizações. Diante das recentes ameaças que o patrimônio espeleológico brasileiro vem enfrentando, como tentativas de alteração dos decretos que regem sua proteção, este artigo busca contribuir para a discussão sobre os benefícios que as cavernas proporcionam nesse contexto, desde abrigo às primeiras civilizações até fonte de informações sobre o passado climático e pesquisas farmacindustriais avançadas no futuro. Como método de análise, o presente estudo aplica os conceitos de serviços ecossistêmicos ao ambiente cárstico, assim como um método de levantamento de serviços “espeleossistêmicos” para a Caverna do Diabo (Gruta da Tapagem). Para contextualizar, o texto revisa como as discussões relacionadas aos serviços ecossistêmicos emergiram e evoluíram nas últimas décadas. O objetivo é, portanto, apresentar argumentos embasados na Economia Ecológica para sustentar estratégias de conservação em regiões cársticas, além de fornecer informações que contribuam para uma divulgação científica mais eficaz e para ações de educação ambiental. Acredita-se que categorizar os benefícios que as cavernas oferecem às populações humanas possa ser um recurso útil para argumentar contra o desconhecimento do patrimônio espeleológico diante das ameaças que enfrenta.

Palavras-chave: Economia ecológica; Serviços ecossistêmicos; Cavernas; Geoconservação.

Abstract

The direct and indirect benefits that ecosystem services provide to human beings can be of countless natures: from the water used for different purposes, to the biodiversity, the resources, and the minerals that have sustained the evolutionary history of civilizations. Faced with the recent threats that the Brazilian speleological heritage has been suffering, such as attempts to change the decrees that provide for its protection (SBE, 2020), this article sought to contribute to the discussion on the benefits that caves have in this context, from shelter to the first civilizations to source of information about the climatic past and advanced industrial pharmaceutical research in the future. As an analysis resource, the present study applied the concepts of ecosystem services to the karst environment and applies a method of surveying “spelecosystemic” services with the Devil’s Cave (Gruta da Tapagem). As a basis for contextualization, the text reviews how discussions related to ecosystem services emerged and evolved in recent decades. Thus, its objective was to present arguments based on Ecological Economics to support conservation strategies for karst regions, as well as information that contribute to better scientific dissemination and environmental education actions. It is believed that categorizing the benefits that caves have on human populations can be a useful argumentation resource in response to the lack of knowledge of the speleological heritage in the face of the threats it has been suffering.

Keywords: Ecological economics; Ecosystem services; Caves; Geoconservation.

INTRODUÇÃO

Não era incomum, algumas décadas atrás, que os seres humanos representassem a natureza como um ambiente hostil, uma barreira a ser vencida na busca pelo progresso e crescimento econômico (Bueno, 2008; McDonough e Braungart, 2010). Durante a expansão industrial, o meio ambiente não era compreendido como um conjunto de ecossistemas integrados e finitos, mas sim como uma fonte inesgotável de recursos e um depósito com capacidade infinita de renovação e absorção de poluentes (McDonough e Braungart, 2010; Monteiro e Mariani, 2012).

A Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII, trouxe não apenas o tão almejado progresso, mas também desastres ambientais e crises econômicas sem precedentes na história humana (Carson, 2015; Pott e Estrela, 2017). Eventos como o Smog em Londres, a Primavera Silenciosa nos EUA e a Baía de Minamata no Japão, ocorridos entre os anos 1950 e 1970, foram responsáveis por milhares de mortes, contribuindo também para o surgimento de uma compreensão mais ampla das relações entre os seres humanos e o meio ambiente natural. A partir da década de 1970, os governos, a mídia e a sociedade começaram a enfatizar as ameaças da contínua ação predatória humana sobre os ecossistemas, em detrimento do crescimento econômico (Kakazian, 2005).

Destaca-se que o conceito de serviços ecossistêmicos utilizado neste artigo se baseia na Economia Ecológica, que parte do pressuposto fundamental de estabelecer limites máximos de degradação e mínimos de conservação do capital natural, a fim de definir o conjunto de possibilidades para a exploração dos ecossistemas pelo subsistema econômico (Igari et al., 2020). Em oposição aos princípios da Economia Ambiental Neoclássica, a Economia Ecológica reconhece que nem todos os ecossistemas são plenamente compreendidos, tornando incorreta a atribuição de valores monetários que priorizem o bem-estar econômico em detrimento da perda de biodiversidade e geodiversidade (Igari et al., 2020).

Portanto, embora os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas cavernas sejam o foco central deste estudo, não se trata de uma visão utilitarista do ambiente subterrâneo, mas sim de um ponto de partida para a organização de informações sobre a importância presente e futura desse patrimônio natural, considerando sua potencial degradação. Apesar de o conceito descrito aqui estar centrado nos serviços prestados pelas cavernas aos seres humanos, compreende-se, conforme a Economia Ecológica sustenta, que todo o patrimônio natural, incluindo as cavernas em sua composição, possui um valor intrínseco pela sua própria existência, ainda pouco compreendido e, portanto, preservado para o futuro.

Revisão histórica sobre serviços ecossistêmicos

O conceito de serviços ecossistêmicos surgiu no final dos anos 1970, após os estudos de Odum (1953), Wilson (1970) e Holdren e Ehrlich (1974), que renomearam o conceito de serviços ambientais para “funções de serviço público do ambiente global”, de acordo com Mooney et al. (1997).

Na década de 1990, quando conferências internacionais começaram a chamar a atenção para ameaças ambientais globais, o tema passou a ganhar mais destaque na mídia e, consequentemente, a sociedade tornou-se mais sensível a ele. Mares, rios e a biodiversidade passaram, finalmente, a ser compreendidos como elementos frágeis, e o ser humano como um agente poluidor.

Apesar de estudos discutirem a terminologia “serviços ecossistêmicos” e suas classificações desde o final dos anos 1970 (Da Silva et al., 2018), foi no final dos anos 1990 que o conceito de atribuir valor econômico aos elementos naturais foi introduzido (Costanza et al., 1997). Usando o termo “capital natural”, os autores propuseram 17 serviços prestados pela natureza que beneficiam direta e indiretamente as populações humanas. Vale lembrar que, em oposição ao “capital natural”, o “capital construído” representa todo o valor relacionado ao bem-estar econômico produzido pelo ser humano (Igari et al., 2020).

Quando contabilizados, esses serviços naturais relacionados ao “capital natural” demonstraram uma parte significativa do que foi chamado de valor econômico do planeta. As funções naturais, ou serviços ecossistêmicos, definidos pelos autores para esses cálculos foram: (1) regulação de gases, (2) regulação do clima, (3) regulação de distúrbios, (4) regulação de água, (5) fornecimento de água, (6) controle de erosão, (7) formação dos solos, (8) controle do ciclo de nutrientes, (9) controle de poluição e desintoxicação, (10) polinização, (11) controle biológico, (12) habitat e refúgio, (13) produção de alimentos, (14) materiais brutos para produção primária, (15) recursos genéticos, (16) recreação e (17) cultural (Costanza et al., 1997).

Essa proposta de valoração dos serviços prestados pela natureza teve um grande impacto entre os profissionais do meio técnico e acadêmico, tornando-se desde então um dos artigos mais referenciados em trabalhos sobre meio ambiente (Imperatriz-Fonseca e Nunes-Silva, 2010). Não por acaso, diferentes autores (Andrade e Romeiro, 2009; Van Ree e Van Beukering, 2016; Da Silva et al., 2018; Urban et al., 2022) destacaram que a estratégia de atribuição de valores econômicos aos serviços que a natureza presta ao ser humano tem um grande poder de persuasão, auxiliando na compreensão de diferentes agentes políticos e sociais sobre o uso consciente dos recursos naturais. Segundo eles, comunicar a história evolutiva das populações humanas, conectando o presente e o futuro com o restante da natureza, é um eficiente

caminho para uma melhor compreensão e conscientização da sociedade em relação à conservação do meio natural.

Outro marco no tema foi a Avaliação Ecosistêmica do Milênio, uma iniciativa promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU) no início dos anos 2000. O encontro contou com a participação de mais de mil cientistas e avançou na discussão conceitual, organizando os serviços ecosistêmicos em quatro grandes categorias: Regulação, Suporte, Provisão e Cultural (MEA, 2005). A partir da publicação do documento resultante desse encontro, o termo “serviços ecosistêmicos” passou a ser efetivamente abordado de maneira mais ampla em diferentes países (McDonough et al., 2017).

Gray (2008) categorizou os serviços ecosistêmicos como valores intrínsecos da natureza, definindo cinco categorias: Estéticos, Econômicos, Funcionais, Científicos e Educacionais.

Em 2017, Ruppert e Duncan conceituaram esses serviços de maneira mais detalhada, atualizando o termo para benefícios diretos e indiretos, monetários e não monetários, que os seres humanos obtêm da natureza. Os autores destacaram que, uma vez que as atividades humanas são alvo de ação e modificação desses serviços dos quais eles mesmos se beneficiam, há uma urgente necessidade de considerar essas relações nas estratégias e análises econômicas e de conservação. Assim, os serviços ecosistêmicos deveriam abranger não apenas o meio biótico, mas também todo o contexto no qual estão inseridos, como o meio físico, econômico, histórico e cultural.

Portanto, neste artigo, adota-se a definição de que os serviços ecosistêmicos são os benefícios diretos e indiretos que os elementos naturais oferecem ao ser humano, desde suporte e bem-estar até aspectos históricos e culturais (Costanza et al., 1997; Daily, 1997; De Groot et al., 2002; MEA, 2005; Díaz et al., 2006; Farley, 2012). Essa perspectiva está alinhada com os princípios da Economia Ecológica, que relaciona toda atividade econômica humana, desde o seu surgimento, à dependência dos ecossistemas naturais (Cechin e Veiga, 2010).

Serviços ecosistêmicos da geodiversidade

Embora as discussões sobre serviços ecosistêmicos tenham evoluído consideravelmente nas últimas cinco décadas, muitos autores ainda chamam a atenção para a ausência de uma abordagem integrada por parte de estudos que amplamente discorrem sobre os serviços da biodiversidade, negligenciando os aspectos físicos abióticos envolvidos (Van Ree e Van Beukering, 2016; Da Silva et al., 2018; Urban et al., 2022).

Essa dissociação pode estar relacionada às diferenças no entendimento e sensibilização da sociedade entre os conceitos de geodiversidade e biodiversidade. Embora a biodiversidade tenha conquistado mais notoriedade e compreensão por

parte de diferentes atores da sociedade ao longo das últimas décadas, os aspectos naturais do meio físico — a geodiversidade — ainda são pouco compreendidos e considerados na literatura quando se trata dos seus serviços integrados com o meio biótico (Gray, 2004, 2018; Brilha et al., 2018; Fox et al., 2020; Queiroz e Garcia, 2022).

Brouwer et al. (2013) apontam essa dificuldade como um dos grandes desafios para se obter uma real dimensão econômica desses serviços para a humanidade. Essa desconexão certamente tem como consequência análises incompletas, comprometendo as tomadas de decisão e as estratégias de uso e conservação do meio natural (Van Der Meulen et al., 2016; Brilha et al., 2018). Com o argumento de que os aspectos físicos da natureza devem ser considerados nessas análises, Gray (2005) propôs o termo “serviços geossistêmicos” para bens e serviços prestados pelo meio abiótico ao ser humano. O autor parte do princípio de que, como a vida depende de nutrientes, espaço, suporte e condições favoráveis para se estabelecer, esses elementos fazem parte de um meio físico composto por rochas, rios, solos, paisagens e inúmeros processos geológicos. Nesse sentido, Brilha et al. (2018), entre outros autores (Stanley, 2000; Sharples, 2002; Gray, 2004, 2005; Fox et al., 2020), coloca a geodiversidade como a base que sustenta toda a vida no planeta.

Em 2011, Gray propôs uma atualização dos conceitos da Avaliação Ecosistêmica do Milênio para a Geodiversidade, definindo seus serviços como Regulação, Suporte, Cultura, Provisão e Conhecimento.

Gordon et al. (2012) e Lele et al. (2013) aprofundaram essa discussão com a proposta do termo “serviços ecosistêmicos da natureza”, fundindo assim a biodiversidade com a geodiversidade. Essa união, no entanto, tem suas interrogações, uma vez que os aspectos bióticos e abióticos se diferem em características elementares nas escalas de espaço e de tempo (Van Ree e Van Beukering, 2016). Para sustentar esse ponto de vista, os autores se referiram ao espaço como a característica do meio físico que compreende não somente a superfície, mas também todos os fluxos e contribuições do subsolo com recursos construídos ao longo do tempo geológico. Quanto à escala de tempo, para os autores, refere-se à dimensão do tempo geológico e sua coleção de registros sobre a história da Terra, o que contrasta com a dinâmica dos ecossistemas bióticos. Uma diferença de abordagem, mas que, de certa maneira, não altera o pensamento unificado proposto por Gordon et al. (2012), uma vez que, ao longo da história da Terra, mesmo mergulhando-se no tempo geológico profundo, sempre houve interrelações entre os aspectos bióticos e abióticos (Barash, 2006; Benton, 2009; Stigall et al., 2019).

A categorização dos serviços ecosistêmicos da geodiversidade também evoluiu à medida que novas discussões surgiram (Gray et al., 2013; Brilha, 2017; Garcia et al.,

2018; Gray, 2018). Em uma publicação mais recente, Brilha et al. (2018) categorizaram os serviços ecossistêmicos da geodiversidade em quatro funções: Regulação (atmosférica na geosfera e hidrosfera), Suporte (solos, água, rochas de superfície e rochas internas), Provisão (nutrientes, alimentos e bebidas, água, materiais de construção, minerais industriais, recursos energéticos e produtos ornamentais) e Cultural (bem-estar e saúde, recreação, histórico e conhecimento).

Um documento publicado em 2020 pela Comissão Mundial de Áreas Protegidas (MacKinnon et al., 2020) também chama a atenção para as inter-relações entre os meios bióticos e abióticos, destacando a interdependência entre eles (Crofts et al., 2021). Segundo os autores, construir guias de boas práticas em geoconservação é uma solução para superar a hegemonia da biodiversidade e demonstrar que os aspectos físicos e biológicos caminham juntos e são interdependentes.

Fox et al. (2020) também contribuíram para essa discussão ao propor uma visão holística de integração entre os aspectos bióticos e abióticos, cuja estrutura comum entre os serviços biossistêmicos e os serviços geossistêmicos é denominada serviços ecossistêmicos, ou serviços “geo-ecos”. Segundo os autores, os serviços podem ser divididos entre geossistêmicos, aqueles exclusivamente abióticos, biossistêmicos, os exclusivamente bióticos, e os serviços de intersecção, que podem ser orientados por aspectos abióticos ou bióticos. A água, por exemplo, é um clássico componente abiótico, mas que direciona inúmeros serviços biossistêmicos e geossistêmicos. Embora apresentem essa separação em teoria, os autores destacam a geodiversidade como aspecto fundamental para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e que, sem ela, em um mundo real, não haveria biodiversidade independente.

Nesse contexto, as cavernas podem ser compreendidas como um sistema complexo no qual a relação entre geodiversidade e biodiversidade se apresenta de forma estreita. A ausência gradativa de luz, que divide a caverna em zonas de entrada, penumbra e afótica, juntamente com as características físicas e morfológicas da caverna, bem como os recursos tróficos (alimento disponível, como material vegetal e guano, entre outros), influenciam diretamente na fauna presente em seu interior (Trajano e Bichuette, 2006).

Algumas pesquisas realizadas no Brasil

Da Silva et al. (2018) propuseram uma revisão bibliográfica sobre serviços ecossistêmicos e encontraram poucos estudos no Brasil que integram esses serviços com os aspectos da geodiversidade (Pereira et al., 2013; Da Silva e Nascimento, 2016; Covello et al., 2017; Santos e Bacci, 2017). O estudo concluiu que cabe à comunidade científica e acadêmica brasileira abordar a geodiversidade

utilizando a organização dos serviços ecossistêmicos já amplamente adotados em avaliações sobre a biodiversidade e que, para isso, é necessária uma maior divulgação da geodiversidade e de seu papel nos serviços ecossistêmicos da natureza.

Garcia (2019) descreveu os serviços ecossistêmicos prestados pela geodiversidade no litoral norte de São Paulo. O estudo identificou 56 serviços distribuídos em 4 funções: Provisão, Suporte, Regulação e Cultural. A pesquisa reforça a importância de identificar os serviços ecossistêmicos da geodiversidade na formulação de políticas públicas para a gestão da geodiversidade e na comunicação aos tomadores de decisão.

Reverte et al. (2019) apresentaram um método de identificação e avaliação dos serviços ecossistêmicos da geodiversidade e suas ameaças para a região da Bacia de Taubaté (SP). O método considerou análises quantitativas dos aspectos abióticos, bem como os aspectos culturais e históricos da região. Foram identificados 53 serviços prestados pela geodiversidade, distribuídos em quatro funções: Regulação, Suporte, Provisão e Cultural. As ameaças identificadas pelas ações humanas afetam a provisão de água, solos e recursos minerais, ameaçando também certas espécies na região (Reverte, 2020).

Balaguer (2022) realizou pesquisa sobre os serviços ecossistêmicos da geodiversidade, definindo-os e avaliando-os no município de Caraguatatuba (SP), além de avaliar os impactos na geodiversidade e nos serviços ecossistêmicos. A autora identificou 76 serviços ecossistêmicos providos pela geodiversidade, distribuídos nas funções de Regulação, Suporte, Provisão, Cultural e Conhecimento. Ela também apontou que as principais ameaças são a urbanização e a ausência de vegetação, sendo as funções de Suporte e Regulação as mais ameaçadas.

Queiroz e Garcia (2022), por meio de uma revisão da literatura, alertaram sobre a baixa consideração da geodiversidade em estudos sobre os serviços ecossistêmicos.

Observa-se ainda uma escassez na literatura nacional sobre os serviços ecossistêmicos da geodiversidade, o que pode ampliar a degradação de alguns locais e dificultar sua preservação. Como apontou Reverte (2020), o crescimento urbano representa um dos principais desafios para a sustentabilidade socioambiental, causando impactos que comprometem a integridade do patrimônio geológico, dos recursos naturais e da disponibilidade dos serviços ecossistêmicos.

Comunicação e compreensão

Urban et al. (2022) enfatizaram que ao não levar em conta as interações entre o ser humano e os elementos geológicos ao longo de seu passado, presente e futuro, torna-se ainda mais difícil conscientizar os cidadãos sobre a conservação

desse patrimônio natural. Segundo os autores, a Terra, suas estruturas e processos devem ser tratados como elementos cruciais para o desenvolvimento das civilizações, bem como para a história econômica humana. Essa abordagem visa conectar a geodiversidade não apenas à história evolutiva das civilizações, mas também à economia atual e aos planos para o futuro.

Ao analisar essas relações com mais profundidade, de acordo com Urban et al. (2022), a abordagem ecossistêmica mais compreendida em relação à geodiversidade é a provisão econômica de recursos minerais (mineração). Essa compreensão decorre, segundo os autores, dos benefícios diretos relacionados aos indicadores econômicos e ao desenvolvimento humano (indústria, construção civil, tecnologia). A segunda abordagem mais compreendida é o valor cultural. Aspectos ligados à religião, tradições, histórias regionais e das civilizações, como a arqueologia, por exemplo, além de aspectos relacionados à educação e ao turismo, podem ser considerados como valor cultural (Menin et al., 2022).

Os autores propõem (Urban et al., 2022), no entanto, um aprofundamento necessário do tema com novas abordagens diretas e indiretas dos serviços prestados pela geodiversidade à sociedade. O estudo concluiu que é urgente o apelo por mais pesquisas que caracterizem os serviços geossistêmicos de maneira clara e simples para além do entendimento apenas acadêmico ou por cientistas, tornando-os mais acessíveis aos cidadãos.

Urban et al. (2022) também reforçaram que o contexto da geodiversidade deve ser dividido em exemplos claros, como cavernas, nascentes, paisagens e outros elementos, mesmo que em uma primeira análise não se encontre valor científico imediato. O motivo dessa consideração decorre do fato de que muitos desses elementos possuem importância crucial no desenvolvimento humano e, portanto, precisam de proteção.

Das ameaças às estratégias de conservação

Compreendendo a geodiversidade como a base física para todos os ecossistemas, as ameaças à geodiversidade podem ser entendidas como ameaças à manutenção da vida. Nem todas essas ameaças são causadas pelo ser humano, mas todas elas, de alguma maneira, influenciam em diferentes escalas a vida na Terra. Como destaca Garcia (2019), os impactos na geodiversidade não implicam apenas na perda permanente de aspectos científicos relacionados ao meio abiótico, mas também ameaçam toda uma cadeia biótica sustentada por esse meio.

Grandes extinções, dispersões e eventos biológicos de escala global, por exemplo, resultaram em alterações na geodiversidade e em suas interações com a biodiversidade, de eventos vulcânicos às alterações climáticas (Clack,

2007; Figueirido et al., 2012; Wilkinson et al., 2012; Zhang e Shu, 2014).

Na escala de tempo humana, as ameaças mais relevantes à geodiversidade são a erosão natural, a exploração de materiais geológicos, o desmatamento, o comércio de fósseis e minerais, o uso turístico inadequado, a especulação imobiliária e o crescimento urbano, dentre outros. Nesse sentido, é preciso compreender que, embora os processos geológicos sejam cíclicos, perdas na geodiversidade podem levar milhares ou milhões de anos para serem reestabelecidas, não sendo, portanto, consideradas renováveis na escala de tempo humana. Dessa forma, a perda de elementos, interrupções de processos naturais, poluição, entre muitos outros impactos no meio físico, incluindo o meio cárstico, devem ser entendidos muitas vezes como irreversíveis (Souza-Silva et al., 2015; Mammola et al., 2019; Chiarini et al., 2022).

Os impactos à geodiversidade podem ser associados a grandes pressões por desenvolvimento econômico e mudanças na política de uso da terra (Garcia, 2019; Reverte et al., 2019; Reverte, 2020). No caso das cavernas, tentativas de alterações na regulamentação de proteção vêm sendo propostas nos últimos anos no Brasil, levando a críticas e mobilizações por parte de especialistas e instituições acadêmicas e espeleológicas nacionais e internacionais (SBE, 2020).

Seja qual for o uso do meio físico, os princípios mais fundamentais em conservação orientam para a realização prévia de um trabalho de inventário, caracterização e qualificação dos sítios presentes (Serrano e Ruiz-Flaño, 2007; Pereira et al., 2013; Brilha, 2016; Garcia et al., 2018; Santos, 2019). As avaliações qualitativas e quantitativas dos serviços ecossistêmicos podem embasar decisões políticas mais acertadas (Preston e Raudsepp-Hearne, 2017). Como exemplo, destacam-se o planejamento adequado do uso de áreas específicas, análises de regulamentação, avaliações de danos ambientais e instrumentos de gestão ambiental e de conservação.

Nesse sentido, ao longo dos anos, foram desenvolvidos diferentes métodos de inventário e mecanismos para diagnósticos, inclusive relacionados ao patrimônio espeleológico. Esses trabalhos buscaram caracterizar os elementos naturais e também levantar riscos de degradação, fragilidade, vulnerabilidade e indicadores de proteção (Pereira et al., 2013; Forte et al., 2018; Menin e Bacci, 2022).

Em resumo, esses estudos buscam eleger a representatividade dos elementos em diferentes escalas — local, regional e global — para, em seguida, definir estratégias que melhor orientem seu uso e conservação (Menin e Bacci, 2022). Dada a dependência do ser humano no consumo de recursos naturais para seu desenvolvimento, não é necessário abdicar completamente dos recursos naturais, mas sim buscar um desenvolvimento equilibrado e em consonância com ações de conscientização, conservação e desenvolvimento sustentável (Da Silva et al., 2018).

As cavernas no contexto de serviços ecossistêmicos

A palavra carste tem origem na região com rochas carbonáticas entre a Itália e a Eslovênia, conhecida como Kras (atualmente chamada de Karst). Foi a primeira região com cavernas estudada cientificamente, tornando-se uma referência em paisagem típica em rochas carbonáticas (Williams, 2008). Atualmente, o termo carste, bem como paisagem cárstica, referem-se a elementos característicos de rochas carbonáticas, incluindo escarpas, afloramentos, dolinas, cânions, vales-cegos e cavernas. Ao abordar os serviços ecossistêmicos do carste, entende-se que todo esse conjunto deve ser considerado na análise e não apenas o meio subterrâneo em si.

As cavernas e o carste podem ser considerados ambientes que prestam diferentes serviços diretos e indiretos ao ser humano (Urban et al., 2022). Por serem ocorrências com feições geológicas e geomorfológicas, como espeleotemas, paleopisos, terraços, depósitos de sedimentos e fósseis, além de aspectos relacionados à vida endêmica, também são consideradas elementos da geodiversidade com valor científico conhecido ou potencial (Woo e Kim, 2018). Muitas vezes, justamente por serem ambientes subterrâneos de difícil acesso, as cavernas são parcialmente exploradas e, portanto, seu potencial científico ainda não é amplamente conhecido (Woo e Kim, 2018). Urban et al. (2022) também chamam a atenção para as cavernas como importantes ocorrências geológicas. Seus aspectos geomorfológicos, segundo os autores, fornecem informações científicas indicando idade e processos de formação. Os autores também estabelecem uma conexão entre os aspectos abióticos subterrâneos com os bióticos, inclusive na recriação de paleoambientes. Espeleotemas conduzem estudos científicos geoquímicos que se conectam com diferentes áreas do conhecimento. Pesquisas têm associado os isótopos de oxigênio e de carbono encontrados em espeleotemas com a reconstrução do clima do passado e seus paleoambientes, associando cavernas com a história da ocupação humana e a presença de diferentes faunas (Lauritzen e Lundberg, 1999; Auler e Smart, 2001; Cruz Jr. et al., 2005; Auler et al., 2006; Stríkis et al., 2011; Della Libera et al., 2022). Reconhecidamente, Van Ree e Van Beukering (2016), ao discorrerem sobre os serviços culturais prestados pela geodiversidade, usaram o exemplo das cavernas como relevante provedor de serviços histórico-culturais associados à ocupação humana.

Baseando-se nesses exemplos, embora Urban et al. (2022) não se aprofundem no meio espeleológico, os autores apontaram as cavernas como prestadoras de serviços ecossistêmicos relacionados aos valores de Provisão, Científico, Cultural e Educativo. Os autores complementaram, ainda, que cavernas em rochas não carbonáticas também se enquadram neste contexto, uma vez que as morfologias agregam importantes

informações geológicas sobre as regiões onde se encontram, independentemente do tipo de rocha que as formou.

No Brasil, a definição de patrimônio espeleológico contempla o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, tanto de superfície como subterrâneos, que representam e estão associados ao meio subterrâneo natural (Brasil, 2004). Em outras palavras, as cavernas e os elementos externos associados a elas são entendidos como parte deste patrimônio e, portanto, assumem inúmeras inter-relações com o ser humano. Embora esta definição não faça referência aos serviços ecossistêmicos, o entendimento amplo de patrimônio espeleológico adotado no país considera as inter-relações entre ser humano e meio natural.

CATEGORIZAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS PRESTADOS PELAS CAVERNAS

Neste estudo, optou-se por categorizar os serviços ecossistêmicos prestados pelas cavernas com base nos modelos de valores da geodiversidade propostos por Gray et al. (2013) e por Brilha et al. (2018). Os autores dividem esses valores em quatro grupos:

- Regulação, que compreende questões atmosféricas e hidrológicas;
- Suporte, que se refere a solos, águas, rochas de superfície e internas;
- Provisão, que faz referência a nutrientes, alimentação e bebidas, materiais e minerais, e recursos energéticos;
- Cultural, que engloba valores científicos, educativos, culturais, históricos e turísticos.

A partir do levantamento bibliográfico e com base nessa divisão das funções apresentadas pelos autores, os serviços ecossistêmicos prestados pelas cavernas foram categorizados (conforme indicado na Tabela 1). Cada um dos grupos foi subdividido de acordo com a natureza do serviço prestado.

A revisão bibliográfica utilizou ferramentas de busca online na plataforma Google Acadêmico para buscar periódicos científicos e publicações técnicas relacionadas à espeleologia. Os descritores pesquisados foram “ecosystem services, speleology, caves, speleological heritage” (serviços ecossistêmicos, espeleologia, cavernas, patrimônio espeleológico).

Artigos que abordavam serviços ecossistêmicos sem exemplos relacionados ao meio espeleológico não foram considerados, assim como artigos relacionados ao meio subterrâneo que não mencionavam diretamente ou indiretamente serviços ecossistêmicos. Após a análise, foram selecionados 36 artigos publicados em periódicos científicos nacionais e internacionais, anais de congressos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Os exemplos

encontrados nas publicações foram resumidos e organizados em categorias de análise, justificando a caracterização de cada serviço ecossistêmico.

Após a identificação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas cavernas na literatura, o mesmo método de levantamento bibliográfico e organização de informações foi aplicado à Caverna do Diabo (CAD), também conhecida como Gruta da Tapagem, devido ao Vale Cego do Rio Tapagem, que penetra na caverna (Cordeiro, 2013). A CAD está situada no Parque Estadual da Caverna do Diabo, na região sul do estado de São Paulo. A escolha dessa gruta foi baseada em sua avaliação coletiva durante um estudo de inventário e qualificação de cavernas (Menin e Bacci, 2023), que a posicionou como a mais bem avaliada entre uma lista de 79 principais cavernas da região. O levantamento e a organização dos serviços e funções prestados por

essa caverna específica foram realizados atribuindo uma nota a cada serviço com base na quantidade e relevância dos exemplos encontrados no levantamento bibliográfico. Dessa forma, foi possível atribuir valores quantitativos para uma análise preliminar dos serviços ecossistêmicos fornecidos pela CAD à sociedade. Para essa análise, uma escala com valores de 0 a 5 foi usada para cada classificação de serviço ecossistêmico, refletindo a quantidade de exemplos encontrados na literatura. A referida escala e as justificativas para as pontuações estão apresentadas na Tabela 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise quantitativa realizada com base nos exemplos encontrados na literatura permitiu identificar os serviços

Tabela 1. Agrupamento e caracterização dos serviços ecossistêmicos prestados pela geodiversidade proposta por Gray et al. (2013) e por Brilha et al. (2018).

Função dos serviços ecossistêmicos da geodiversidade	
a. Regulação	Regulação hídrica Regulação Biótica Regulação de ecossistemas externos
b. Suporte (Solos, água, rochas de superfície e rochas internas)	Suporte hídrico Elementos de paisagens
c. Provisão (Nutrientes, alimentação e bebidas, água, materiais de construção, minerais industriais, recursos energéticos e produtos ornamentais)	Provisão hídrica Provisão de matérias-primas Provisão de abrigo Valores indiretos ambientais e econômicos Potencial biológico econômico industrial
d. Cultural (Bem-estar e saúde, recreação, histórico e conhecimento)	Valor científico Valor cultural Valor Histórico Valor Pré-histórico e Arqueológico Valor educativo e de conhecimento

Tabela 2. Cálculo utilizado para atribuição de valor quantitativo aos exemplos de serviços ecossistêmicos prestados pela Caverna do Diabo.

Valor	Justificativa
0	Não foi encontrado nenhum exemplo em pesquisa bibliográfica
1	Foi encontrado um exemplo isolado
2	Foram encontrados até 2 exemplos
3	Foram encontrados até 3 exemplos
4	Foram encontrados mais de 3 exemplos
5	Existem inúmeros exemplos ou a caverna é notadamente referência no aspecto avaliado

ecossistêmicos diretos e indiretos, ou “espeleossistêmicos”, oferecidos pelas cavernas. Ao utilizar as categorias propostas por Gray et al. (2013) e por Brilha et al. (2018), observa-se que alguns exemplos desses serviços podem se encaixar em diferentes classificações desses métodos (Regulação, Suporte, Provisão e Cultural).

Uma análise dos serviços identificados sugere que, de forma geral, as cavernas têm uma maior influência nas funções de Provisão e Cultural, mas suas funções de Suporte e Regulação também são relevantes e não devem ser ignoradas. Embora não tenham sido realizadas análises de grandeza geográfica, é compreendido que a maioria desses serviços possui impactos em níveis locais e regionais.

Como já mencionado, vários pesquisadores afirmaram que as cavernas representam ambientes pouco explorados. Nesse contexto, também há potencial para a prestação de serviços ecossistêmicos ainda não identificados. Por exemplo, usos industriais e pesquisas biológicas com base em bactérias encontradas no ambiente subterrâneo podem gerar serviços com influência que transcende os limites regionais, podendo atingir escalas nacionais e até globais, especialmente quando incorporados em soluções químicas industriais (Mushtaq et al., 2021).

Do ponto de vista quantitativo, a quantidade de exemplos encontrados permitiu determinar a relevância de cada categoria (Regulação, Suporte, Provisão e Cultural) de acordo com a classificação de Gray et al. (2013) e Brilha et al. (2018) nos serviços prestados pelas cavernas. A Figura 1

oferece um panorama quantitativo da distribuição desses serviços, enquanto a Tabela 3 fornece um resumo descritivo dos exemplos identificados por meio de levantamento bibliográfico técnico e acadêmico.

A Tabela 3 apresenta a mesma ordem e cores da original (Tabela 1), com a inclusão das colunas contendo os exemplos encontrados no embasamento teórico, generalizado para o patrimônio espeleológico.

As Figuras 2 a 11 ilustram alguns valores e serviços prestados por diferentes cavernas em nível nacional, e a Tabela 3 resume as informações encontradas na literatura.

A Caverna do Diabo caracterizada por seus serviços “espeleossistêmicos”

A partir da função dos serviços ecossistêmicos da geodiversidade apresentada na Tabela 1 e do cálculo de valoração apresentado na Tabela 2, foi realizada uma análise quantitativa dos serviços prestados pela Caverna do Diabo (Tabela 4).

Os exemplos foram contabilizados de maneira direta e indireta. São, portanto, independentes de publicações relacionadas especificamente à Caverna do Diabo (diretos), mas também incluem exemplos genéricos que se aplicam à cavidade (indiretos). Isso ocorre porque alguns exemplos podem não ter sido fruto direto de estudo e publicação sobre a referida caverna, mas podem ser aplicados a ela de maneira genérica. O serviço de regulação de ecossistemas

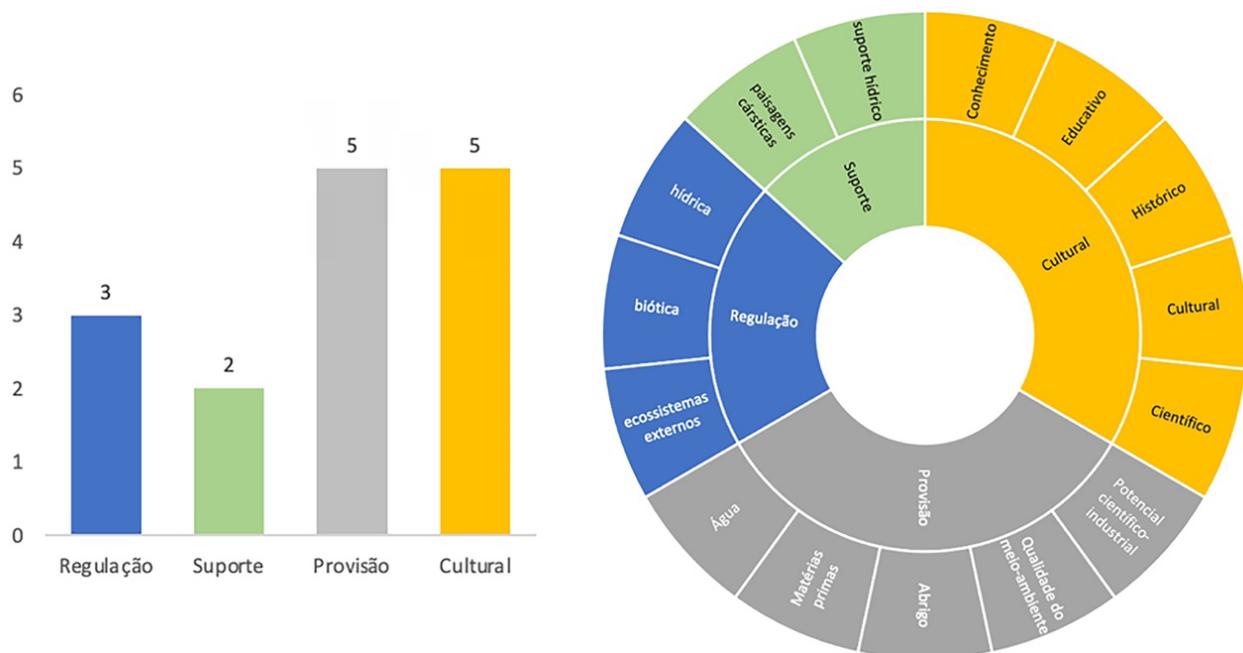


Figura 1. Representação gráfica dos serviços ecossistêmicos prestados pelas cavernas, aqui também chamados de “serviços espeleossistêmicos”. As cores representam o agrupamento proposto na Tabela 3.

Tabela 3. Organização dos serviços geossistêmicos ou “espeleossistêmicos” apresentados pelas cavernas, com o resumo dos exemplos encontrados na literatura seguindo agrupamento proposto por Gray et al. (2013) e Brilha et al. (2018).

Função	Natureza	Exemplos de Serviços prestados pelas cavernas
a. Regulação	Regulação hídrica	Aquíferos cársticos contribuem para a disponibilidade e qualidade da água subterrânea de uma determinada região. A drenagem no carste funciona como captador e transporte de alta velocidade ajudando na distribuição hídrica entre diferentes zonas de recarga e descarga (Travassos, 2019). O transporte da água, além de suas propriedades físico-químicas, também contribui na dispersão de uma infinidade de seres microbiológicos ainda pouco estudados (Medellin et al., 2017).
	Regulação Biótica	No meio biótico, todos os anos centenas de estudos sobre biologia subterrânea são publicados, o que demonstra que as cavernas compreendem a um universo ainda pouco explorado e, por consequência disso, sem uma ampla compreensão sobre a real dimensão de sua representatividade ecossistêmica biológica para o ser humano. Faunas internas e externas podem estar associadas às cavernas como ambiente de abrigo e fornecimento de nutrientes.
	Regulação de ecossistemas externos	Alguns casos clássicos são mais conhecidos, como a regulação biótica indireta representada pelas cavernas como habitat de morcegos que, por sua vez, ajudam na regulação de pragas, polinização e dispersão de sementes contribuindo assim para o reflorestamento e dispersão botânica por quilômetros no entorno de seus habitats originais (Kunz et al., 2011; Wiederholt et al., 2013; López-Hoffman et al., 2017; Medellin et al., 2017; Leal e Bernard, 2021). Além da contribuição na regulação biótica externa, os morcegos têm um papel crítico na regulação biótica dos ecossistemas subterrâneos carregando nutrientes através do guano, base da cadeia alimentar de uma infinidade de outros seres menores (Pimentel et al., 2022). Estudos têm calculado o valor econômico de serviços ecossistêmicos providos por morcegos o que pode também ser diretamente associado às cavernas (Kunz et al., 2011).
b. Suporte (Solos, água, rochas de superfície e rochas internas)	Suporte hídrico	Suporte, armazenamento e transporte de água subterrânea (Travassos, 2019).
	Elementos de paisagens	Relevo cárstico com lapíás, torres, cânions, vales cegos, dolinas e afloramentos.
c. Provisão (Nutrientes, alimentação e bebidas, água, materiais de construção, minerais industriais, recursos energéticos e produtos ornamentais)	Provisão hídrica	Como já mencionado, o armazenamento e transporte hídrico presta diferentes serviços ao meio ambiente e ser humano em regiões cársticas.
	Provisão de matérias-primas	As cavernas já foram palco de extração de salitre para produção de pólvora; atualmente, áreas cársticas são objeto de extração de matérias primas para indústrias de construção civil e consumo (calcário).
	Provisão de abrigo	Abrigo de espécies endêmicas.
	Valores indiretos ambientais e econômicos	As cavernas estão entre os elementos geológicos mais usados para o turismo. Estima-se um volume global de 70 milhões de turistas em caverna movimentando mais de 7 bilhões de Euros anualmente (Chiarini et al., 2022). Turismo no ambiente cárstico também está relacionado à valorização e melhor conscientização em relação ao meio natural.
	Potencial biológico econômico industrial	Recentes estudos têm sido publicados associando o meio biótico existente no meio subterrâneo com potencial uso industrial de grandes impactos. Mushtaq et al. (2021) demonstra a existência de actinomicetos em cavernas, antibacteriano com grande utilidade industrial ainda pouco explorada; Em outro caso, a descoberta de fungos existentes em cavernas compreende um potencial uso industrial para fermentação com mais eficiência do que processos atuais (Paula et al., 2019); A biodegradação de plásticos também é realizada com eficiência por fungos dentro de cavernas, o que aponta promissoras pesquisas neste sentido (Mazina et al., 2019).
d. Cultural (Bem-estar e saúde, recreação, histórico e conhecimento)	Valor científico	Pesquisas científicas associadas à estudos do clima, geologia, biologia, arqueologia e paleontologia.
	Valor cultural	As cavernas dispõem de questões culturais e regionais relacionadas às festividades, crenças e lendas regionais, o que por sua vez também se refletem em atividades econômicas diretas e indiretas.
	Valor Histórico	As cavernas contemplam muitas vezes passagens históricas regionais (mineração, uso e exploração) ou mesmo espeleológicas.



Foto: Daniel Menin.

Figura 2. Exemplo do Grupo Cultural (d). A beleza cênica pode estar relacionada ao valor cultural, bem-estar, recreação e turismo. Gruta do Janelão, Parque Nacional Cavernas do Peruaçu.



Foto: Daniel Menin.

Figura 5. Exemplo do Grupo Cultural (b) relacionado ao valor científico associado à biologia evolutiva e fauna subterrânea. Gruta do Fendão, Parque Estadual de Intervalos, Capão Bonito, SP.



Foto: Daniel Menin.

Figura 3. Exemplo dos Grupos de Regulação (a), Suporte (b) e Provisão (c) relacionada ao armazenamento, transporte, fornecimento e qualidade de água subterrânea. Gruta do Impossível, Iraquara – Bahia.



Foto: Daniel Menin.

Figura 6. Exemplo do Grupo Cultural (b) relacionado ao valor científico associado à presença de fósseis. No exemplo, ossos de um macaco encontrado na Toca da Barriguda, em Campo Formoso, Bahia.



Foto: Daniel Menin.

Figura 4. Exemplo do Grupo Cultural (b) relacionado ao valor científico associado à geologia e paleoclimatologia provenientes da datação de amostras de espeleotemas. Caverna Toca da Boa Vista, Campo Formoso – Bahia.

externos provido por morcegos, por exemplo, é um caso ainda não estudado especificamente sobre a Gruta da Tapagem. Entretanto, foi considerado uma vez que a caverna notadamente abriga colônias deste mamífero.

As colunas 1 e 2 representam a organização das informações de acordo com a classificação utilizada. A coluna 3 apresenta uma descrição do serviço prestado especificamente pela Caverna do Diabo. A coluna 4 aplica um cálculo para avaliação quantitativa e a coluna 5 apresenta as referências consideradas especificamente para a Caverna do Diabo (referências diretas).

A partir dos dados coletados, destaca-se a importância cultural da Caverna do Diabo, o que pode ser explicado pelo seu uso turístico e educativo, além de sua relevância na ciência e história da região. É possível ainda observar que alguns exemplos podem ser posicionados em mais de uma função de acordo com a abordagem adotada. A aplicação



Foto: Daniel Menin.

Figura 7. Exemplo do Grupo Cultural (b) relacionado ao valor científico associado aos aspectos históricos e culturais. Observam-se estruturas precárias para locomoção e extração de salitre em caverna na região de Natalândia, MG.



Foto: Daniel Menin.

Figura 8. Exemplo do Grupo Cultural (b) relacionado ao valor científico associado aos aspectos arqueológicos. Pinturas rupestres em entrada de cavernas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, MG.

sobre a Caverna do Diabo sugere que os serviços podem variar de caverna para caverna, dependendo de suas características intrínsecas e, principalmente, do nível de conhecimento que se tem sobre a mesma.



Foto: Daniel Menin.

Figura 9. Exemplo do Grupo Cultural (b) relacionado ao valor científico associado aos aspectos culturais, turísticos e religiosos. Igreja construída dentro da Gruta da Mangabeira, em Ituaçu, MG.



Foto: Daniel Menin.

Figura 10. Exemplo do Grupo Cultural (b) relacionado a aspectos turísticos e recreativos. Uma família fazendo uso da estrutura e visitação turística na Caverna do Diabo, SP. O turismo representa parte importante da economia local.

Observa-se na Figura 12 o levantamento quantitativo dos exemplos de serviços diretamente ou indiretamente associados à Caverna do Diabo, agrupados de acordo com a organização de funções adotadas neste estudo (Gray et al., 2013; Brilha et al., 2018). O gráfico também evidencia a relevância cultural da Caverna do Diabo como o principal conjunto de serviços prestados pela cavidade. Neste agrupamento, estão todos os conjuntos de serviços relacionados ao Turismo, Educação e Recreação, além de aspectos Históricos, Sociais e Científicos. Por se tratar de uma Unidade de Conservação Estadual, a gruta dispõe atualmente de estrutura para visitação e apoio à pesquisa, o que certamente contribui no levantamento dos exemplos de serviços prestados com a função Cultural.



Foto: Daniel Menin.

Figura 11. Exemplos do Grupo Cultural (b) relacionados aos aspectos educativos. Alunos da rede pública de Sumaré (SP) criam maquete explicando aspectos do relevo cárstico e uma caverna dentro da escola contemplando diferentes áreas do conhecimento.

Na função de Provisão, segundo valor mais bem avaliado, estão serviços relacionados à economia local, uma vez que a visitação turística contribui para todo um ecossistema de serviços locais e regionais, como a existência de condutores ambientais, agências de ecoturismo, pousadas, restaurantes e atrativos indiretos, como trilhas e cachoeiras, por exemplo. Ainda em provisão, estão aspectos relacionados à fauna local e à importância do rio Tapagem, que atravessa a caverna e contribui na distribuição hídrica local.

Nas funções de Suporte e de Regulação, destacam-se exemplos relacionados à paisagem cárstica regional com vales, escarpas e rios, e, respectivamente, regulação hídrica, biótica e de ecossistemas externos, uma vez que a caverna se insere em uma unidade de conservação em meio a toda a biodiversidade da Mata Atlântica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cavernas sempre prestaram importantes serviços às populações humanas ao longo da história evolutiva, o que inclui também o presente e o futuro. Esses serviços independem do ponto de vista conceitual, sendo denominados de bióticos ou abióticos, de serviços ecossistêmicos, geossistêmicos ou da natureza.

A aplicação do método de análise aqui descrito para a Caverna do Diabo sugere que o conhecimento dos serviços pode variar bastante de acordo com o conhecimento que se tem sobre determinada caverna. Isso indica que a análise mais adequada para o enquadramento dos serviços ecossistêmicos prestados pelas cavernas deve ser feita de maneira genérica e, algumas vezes, indireta, tendo-se cautela ao aplicar o método em grutas individualmente.

Como o levantamento de serviços baseia-se no conhecimento já adquirido, cavernas pouco estudadas podem ser subavaliadas.

Ter uma boa definição sobre as inter-relações entre o ser humano e as cavernas permite a elaboração de indicadores e mecanismos de qualificação, bem como o estabelecimento de medidas de conservação, educação e divulgação mais adequadas. As análises aqui descritas permitem afirmar que as cavernas têm alto potencial Cultural, o que contempla serviços relacionados à ciência, educação, turismo e aspectos sociais. O turismo, em especial, presta serviços econômicos às comunidades do entorno e às unidades de conservação. Além disso, também representa um importante meio de comunicação científica, principalmente se associado às informações sobre os serviços prestados pelo patrimônio espeleológico à sociedade, o que parece ainda não ser bem aproveitado no Brasil.

Em alguns casos, os serviços ecossistêmicos prestados pelas cavernas podem extrapolar as esferas local e regional, representando relevância global diante do potencial de novos estudos e descobertas científicas.

Sendo assim, a organização de serviços ecossistêmicos prestados pelas cavernas, que poderiam ainda ser chamados de “serviços espeleossistêmicos”, pode funcionar como um norteador para projetos educativos e de divulgação científica, ajudando a agrupar informações, identificar oportunidades pedagógicas e criar sequências didáticas complementares e interdisciplinares.

Por fim, este composto ajuda a aproximar a espeleologia do público leigo e atores governamentais, fazendo-os entender melhor as áreas de conhecimento envolvidas no estudo das cavernas e a importância de conservar o patrimônio espeleológico. Investir no conhecimento e uso consciente

Tabela 4. Agrupamento de exemplos de serviços ecossistêmicos encontrados em levantamento bibliográfico sobre cavernas.

Função	Natureza	Caverna do Diabo (CAD)		
		Serviços prestados pela CAD	No. de referências bibliográficas	Artigos científicos sobre a CAD
a. Regulação	Regulação hídrica	O sistema hídrico da Tapagem (Caverna do Diabo) configura-se como importante recarga hidrológica da região envolvendo drenagens como o Rio das Ostras, o Rio Pardo e o Rio Ribeira.	2	(Cordeiro, 2013; Sallun Filho et al., 2015)
	Regulação Biótica	Estudos de fauna e colônias de morcegos indicam influência sobre regulação biótica interna e potencialmente externa.	3	(Bichuette et al., 2015; Watanabe et al., 2016; Campos-Filho et al., 2022)
	Regulação de ecossistemas externos	Colônia de morcegos e transporte hídrico a partir do Vale Cego da Tapagem ao Rio das Ostras podem indicar regulação de ecossistemas externos.	2	n/c - os exemplos aqui foram aplicados indiretamente.
b. Suporte (Solos, água, rochas de superfície e rochas internas)	Suporte hídrico	Rio Tapagem.	1	(Sallun Filho et al., 2015)
	Elementos de paisagens	Carste do Parque Estadual da Caverna do Diabo, aspectos cênicos e espeleométricos da caverna.	5	(Sallun Filho et al., 2015; Silverio, 2015; Aguiar, 2017)
c. Provisão (Nutrientes, alimentação e bebidas, água, materiais de construção, minerais industriais, recursos energéticos e produtos ornamentais)	Provisão hídrica	Rio Tapagem.	1	(Sallun Filho et al., 2015)
	Provisão de matérias-primas	não consta.	0	n/c - Não se tem registro da provisão de matérias primas a parte da Caverna do Diabo.
	Provisão de abrigo	Abrigo de fauna subterrânea.	3	(Bichuette et al., 2015; Watanabe et al., 2016; Campos-Filho et al., 2022)
	Valores indiretos ambientais e econômicos	Atividades turísticas, esportivas e recreativas e influência econômica em comunidades regionais, entre elas os quilombolas.	5	(Silverio, 2015; Aguiar, 2017; Menin e Bacci, 2023)
	Potencial biológico econômico industrial	Estudos biológicos na caverna indicam a existência de fauna subterrânea, e embora existam exemplos do potencial econômico industrial de estudos biológicos em caverna, não foram encontradas aplicações a partir da Caverna do Diabo.	0	n/c (não se pode atribuir exemplos indiretos neste caso).
d. Cultural (Bem-estar e saúde, recreação, histórico e conhecimento)	Valor científico	Estudos paleoclimáticos, geológicos, biológicos, de impactos e capacidade de carga.	5	(Araujo et al., 2003; Bichuette et al., 2015; Sallun Filho et al., 2015; Watanabe et al., 2016; Mira et al., 2021; Campos-Filho et al., 2022)
	Valor cultural	Alto vínculo regional.	3	(Silverio, 2015; Aguiar, 2017; Menin e Bacci, 2023)
	Valor Histórico	Rica história regional e espeleológica.	1	(Figueiredo et al., 2007)

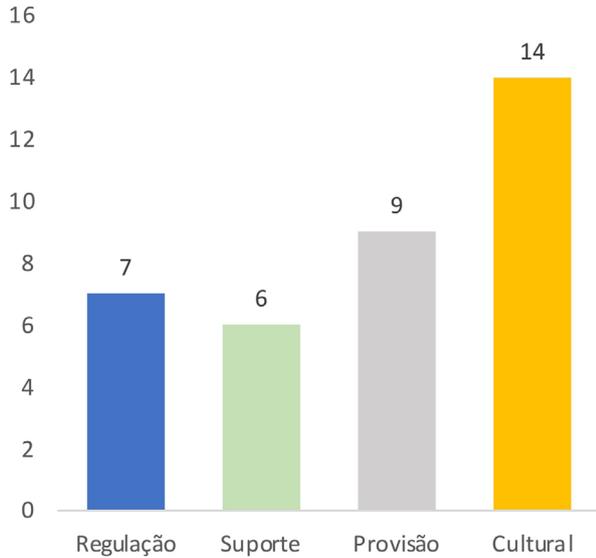


Figura 12. Escala quantitativa dos serviços prestados pela CAD. Os números representam a quantidade de exemplos encontrados dentro de cada função apresentada.

deste meio representa não somente a aproximação da sociedade às mais variadas áreas do conhecimento, mas também estimula a própria ciência e a conservação do patrimônio espeleológico do presente e para o futuro.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, H. J. P. D. (2017). *Ecoturismo e tradição cultural quilombola: análise sobre as influências do turismo no Parque Estadual Caverna do Diabo nas comunidades de Ivaporunduva e Sapatu (Eldorado/São Paulo/Brasil)*. Dissertação (Mestrado). Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/48361>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Andrade, D. C., Romeiro, A. R. (2009). Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”. *Texto para Discussão*, 159. Disponível em: <https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/artigos/1789/texto159.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Araujo, A. G., Neves, W. A., Pilo, L. B. (2003). Eventos de seca no Holoceno e suas implicações no povoamento pré-histórico do Brasil Central. *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Anais... Recife: ABEQUA, CD-ROM.
- Auler, A. S., Piló, L. B., Smart, P. L., Wang, X., Hoffmann, D., Richards, D. A., Edwards, R. L., Neves, W. A., Cheng, H. (2006). U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 240(3-4), 508-522. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.03.002>
- Auler, A. S., Smart, P. L. (2001). Late Quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems. *Quaternary Research*, 55(2), 159-167. <https://doi.org/10.1006/qres.2000.2213>
- Balaguer, L. P. (2022). *Avaliação da geodiversidade como base para estratégias de geoconservação em áreas protegidas: estudo aplicado ao Parque Estadual da Serra do Mar-Núcleo Caraguatatuba (SP)*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP. <https://doi.org/10.11606/D.44.2022.tde-15092022-111713>
- Barash, M. S. (2006). Development of marine biota in the Paleozoic in response to abiotic factors. *Oceanology*, 46(6), 848-858. <https://doi.org/10.1134/S0001437006060105>
- Benton, M. J. (2009). The Red Queen and the Court Jester: species diversity and the role of biotic and abiotic factors through time. *Science*, 323(5915), 728-732. <https://doi.org/10.1126/science.1157719>
- Bichuette, M. E., Gallão, J. E., Von Schimonsky, D. M., Trajano, E. (2015). Fauna aquática subterrânea da gruta da tapagem (pedc), um estudo no trecho turístico. *XXXIII Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Anais... Eldorado: SBE. p. 103-108. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/07/33cbe_103-108.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Brasil (2004). Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do Patrimônio Espeleológico. *Diário Oficial da União*, Brasília. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=100790>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- Brilha, J. B. R. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8, 119-134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Brilha, J. B. R. (2017). Trends and challenges for geoconservation. In: EGU General Assembly, Conference Abstracts. p. 8626. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319999073_Trends_and_challenges_for_geoconservation. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Brilha, J. B. R., Gray, M., Pereira, D. I., Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy*, 86, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>

- Brouwer, R., Brander, L., Kuik, O., Papyrakis, E., Bateman, I. (2013). A synthesis of approaches to assess and value ecosystem services in the EU in the context of TEEB. Amsterdam: VU University, 144 p. Disponível em: <https://www.cbd.int/financial/values/eu-valuation2013.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Bueno, M. F. (2008). Natureza como representação da Amazônia. *Espaço e Cultura*, (23), 77-86. <https://doi.org/10.12957/espaocultura.2008.3524>
- Campos-Filho, I. S., Gallo, J. S., Gallão, J. E., Torres, D. F., Carpio-Díaz, Y. M., López-Orozco, C. M., Bichuette, M. E. (2022). Expanding the knowledge on the diversity of the cavernicolous Styloniscidae Vandel, 1952 (Oniscidea, Synocheta) from Brazil, with descriptions of two new species from the semiarid karst regions. *ZooKeys*, 1101, 35-55. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1101.79043>
- Carson, R. (2015). Silent spring. In: A. Cahn, R. O'Brien (eds.). *Thinking About the Environment*. Routledge, p. 150-155.
- Cechin, A., Veiga, J. D. (2010). O fundamento central da economia ecológica. In: May, P. (org.). *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. 2nd ed. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, p. 33-48. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1261591/mod_resource/content/0/LIVRO___Economia%20do%20Meio%20Ambiente.pdf. Acesso em: 25 jul. 2023.
- Chiarini, V., Duckeck, J., De Waele, J. (2022). A Global Perspective on Sustainable Show Cave Tourism. *Geoheritage*, 14(3), 82. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00717-5>
- Clack, J. A. (2007). Devonian climate change, breathing, and the origin of the tetrapod stem group. *Integrative and Comparative Biology*, 47(4), 510-523. <https://doi.org/10.1093/icb/icm055>
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cordeiro, B. M. (2013). *Planalto carbonático do André Lopes (SP): geomorfologia cárstica e geoespeleologia da Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo)*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.44.2013.tde-15122014-153934>
- Covello, C., Horn Filho, N. O., Brilha, J. B. (2017). A geodiversidade do município de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil: valores e ameaças. *Revista do Departamento de Geografia*, esp.(Eixo 6), 104-111. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132514>
- Crofts, R., Tormey, D., Gordon, J. E. (2021). Introducing new guidelines on geoheritage conservation in protected and conserved areas. *Geoheritage*, 13, 33. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00552-0>
- Cruz Jr, F. W., Karmann, I., Viana Jr, O., Burns, S. J., Ferrari, J. A., Vuille, M., Sial, A. N., Moreira, M. Z. (2005). Stable isotope study of cave percolation waters in subtropical Brazil: Implications for paleoclimate inferences from speleothems. *Chemical Geology*, 220(3-4), 245-262. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.04.001>
- Da Silva, M. L. N., Mansur, K. L., Nascimento, M. A. L. (2018). Serviços ecossistêmicos da natureza e sua aplicação nos estudos da geodiversidade: uma revisão. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(2), 699-709. https://doi.org/10.11137/2018_2_699_709
- Da Silva, M. L. N., Nascimento, M. A. L. (2016). Os Valores da Geodiversidade de Acordo com os Serviços Ecossistêmicos Sensus Murray Gray Aplicados a Estudos In Situa Cidade do Natal (RN). *Caderno de Geografia*, 26(2), 338-354. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26nesp2p338>
- Daily, G. C. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Della Libera, M. E., Novello, V. F., Cruz, F. W., Orrison, R., Vuille, M., Maezumi, S. Y., Souza, J., Cauhy, J., Campos, J. L. P. S., Ampuero, A., Utida, G., Stríkis, N. M., Stumpf, C. F., Azevedo, V., Zhang, H., Edwards, R. L., Cheng, H. (2022). Paleoclimatic and paleoenvironmental changes in Amazonian lowlands over the last three millennia. *Quaternary Science Reviews*, 279, 107383. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107383>
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F. S., Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8), e277. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>

- Farley, J. (2012). Ecosystem services: The economics debate. *Ecosystem services*, 1(1), 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.002>
- Figueiredo, L. A. V., Zampaulo, R. D. A., Geribello, F. K., Pedro, E. G., Dellantonio, R., Lobo, H. A. S. (2007). Projeto Caverna do Diabo (PROCAD): aspectos históricos (1990-2007) e resultados das expedições da terceira fase. *XXIX Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Anais... Ouro Preto: SBE, p. 113-119. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/07/29cbe_113-119.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Figueirido, B., Janis, C. M., Pérez-Claros, J. A., De Renzi, M., Palmqvist, P. (2012). Cenozoic climate change influences mammalian evolutionary dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(3), 722-727. <https://doi.org/10.1073/pnas.1110246108>
- Forte, J. P., Brilha, J., Pereira, D. I., Nolasco, M. (2018). Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. *Geoheritage*, 10(2), 205-217. <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0282-3>
- Fox, N., Graham, L. J., Eigenbrod, F., Bullock, J. M., Parks, K. E. (2020). Incorporating geodiversity in ecosystem service decisions. *Ecosystems and People*, 16(1), 151-159. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1758214>
- Garcia, M. G. M. (2019). Ecosystem services provided by geodiversity: Preliminary assessment and perspectives for the sustainable use of natural resources in the coastal region of the State of São Paulo, Southeastern Brazil. *Geoheritage*, 11(4), 1257-1266. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00383-0>
- Garcia, M. G. M., Brilha, J., de Lima, F. F., Vargas, J. C., Pérez-Aguilar, A., Alves, A., 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. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0215-y>
- Gordon, J. E., Barron, H. F., Hansom, J. D., Thomas, M. F. (2012). Engaging with geodiversity – why it matters. *Proceedings of the Geologists' Association*, 123(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2011.08.002>
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. Chichester: John Wiley e Sons, 434 p.
- Gray, M. (2005). Geodiversity and geoconservation: what, why, how? *The George Wright Forum*, 22(3), 4-12. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237586700_Geodiversity_and_Geoconservation_What_Why_and_How. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Gray, M. (2008). Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm. *Geological Society, London, Special Publications*, 300(1), 31-36. <https://doi.org/10.1144/SP300.4>
- Gray, M. (2011). Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, 38(3), 271-274. <https://doi.org/10.1017/S0376892911000117>
- Gray, M. (2018). The confused position of the geosciences within the “natural capital” and “ecosystem services” approaches. *Ecosystem Services*, 34(Part A), 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.10.010>
- Gray, M., Gordon, J. E., Brown, E. J. (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124(4), 659-673. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.01.003>
- Holdren, J. P., Ehrlich, P. R. (1974). Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American Scientist*, 62(3), 282-292. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/27844882>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Igari, A. T., Pavanelli, J. M. M., Oliveira, C. E., Almeida Sinisgalli, P. A. (2020). Mudanças institucionais e governança de serviços ecossistêmicos. *Diálogos Socioambientais*, 3(7), 9-11. Disponível em: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/article/view/295>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Imperatriz-Fonseca, V. L., Nunes-Silva, P. (2010). Bees, ecosystem services and the Brazilian Forest Code. *Biota Neotropica*, 10(4), 59-62. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000400008>
- Kakazian, T. (2005). *Haverá a idade das coisas leves*. São Paulo: Senac.
- Kunz, T. H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., Fleming, T. H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 1-38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>
- Lauritzen, S. E., Lundberg, J. (1999). Speleothems and climate: a special issue of The Holocene. *The Holocene*, 9(6), 643-647. <https://doi.org/10.1191/095968399666229065>

- Leal, E. S. B., Bernard, E. (2021). Mobility of bats between caves: ecological aspects and implications for conservation and environmental licensing activities in Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 58(2), 373-383. <https://doi.org/10.1080/01650521.2021.1964910>
- Lele, S., Springate-Baginski, O., Lakerveld, R., Deb, D., Dash, P. (2013). Ecosystem services: origins, contributions, pitfalls, and alternatives. *Conservation and Society*, 11(4), 343-358. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.125752>
- López-Hoffman, L., Chester, C. C., Semmens, D. J., Thogmartin, W. E., Rodríguez-McGoffin, M. S., Merideth, R., Diffendorfer, J. E. (2017). Ecosystem services from transborder migratory species: implications for conservation governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 509-539. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-090119>
- MacKinnon, K., Smith, R., Dudley, N., Figgis, P., Hockings, M., Keenleyside, K., Laffoley, D., Locke, H., Sandwith, T., Woodley, S., & Wong, M. (2020). Strengthening the global system of protected areas post-2020: A perspective from the IUCN World Commission on Protected Areas. *Parks Stewardship Forum*, 36(2), 280-296. <https://doi.org/10.5070/P536248273>
- Mammola, S., Piano, E., Cardoso, P., Vernon, P., Domínguez-Villar, D., Culver, D. C., Pipan, T., Isaia, M. (2019). Climate change going deep: The effects of global climatic alterations on cave ecosystems. *The Anthropocene Review*, 6(1-2), 98-116. <https://doi.org/10.1177/2053019619851594>
- Mazina, S. E., Egorov, M. I., Harlamova, M. D. (2019). Plastics biodestruction under the impact of caves micromycetes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 272(3), 032068. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032068>
- McDonough, W., Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. Nova York: North Point Press.
- McDonough, K., Hutchinson, S., Moore, T., Hutchinson, J. S. (2017). Analysis of publication trends in ecosystem services research. *Ecosystem Services*, 25, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.022>
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis*. Washington, D.C.: World Resources Institute. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- Medellin, R. A., Wiederholt, R., Lopez-Hoffman, L. (2017). Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological Conservation*, 211(Part B), 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>
- Menin, D. S., Bacci, D. C. (2022). Avaliação de inventários e mecanismos de qualificação de cavernas pela perspectiva do uso educativo e da divulgação científica. *Geologia USP. Série Científica*, 22(3), 3-17. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v22-184311>
- Menin, D. S., Bacci, D. C. (2023). Qualification of Caves for Educational Use and Scientific Dissemination: a Methodological Proposal. *Geoheritage*, 15(1), 29. <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00789-x>
- Menin, D. S., Tognetta, L. R. P., Bacci, D. 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>
- Mira, L. F., Alcântara Marinho, M., Lobo, H. A. S. (2021). Monitoria ambiental e suas contribuições na gestão dos Parques Estaduais Caverna do Diabo, Ilha do Cardoso e Turístico do Alto Ribeira (Vale do Ribeira, SP). *Revista Brasileira de Ecoturismo*, 14(5), 646-661. <https://doi.org/10.34024/rbecotur.2021.v14.12857>
- Monteiro, C. C. F., Mariani, B. F. (2012). Uma análise sobre a relação entre sustentabilidade e história. *Convergências: Revista de Investigação e Ensino das Artes*, (10). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.11/5225>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- Mooney, H. A., Ehrlich, P. R., Daily, G. E. (1997). Ecosystem services: a fragmentary history. In: Daily, G. C. (Ed.). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press, p. 11-19.
- Mushtaq, A., Gul, M., Rawat, S., Tiwari, J. K. (2021). A Preliminary Investigation on the In-Vitro Antibacterial Activities of Cave Actinomycetes. *Journal of Mountain Research*, 16(3), 421-427. <https://doi.org/10.51220/jmr.v16i3.41>
- Odum, E. P. (1953). *Fundamentals of ecology*. Filadélfia: W. B. Saunders Co. <https://doi.org/10.12987/9780300188479-022>
- Paula, C. C. D., Montoya, Q. V., Meirelles, L. A., Farinas, C. S., Rodrigues, A., Selegim, M. H. (2019). High cellulolytic activities in filamentous fungi isolated from an extreme oligotrophic subterranean environment (Catão cave) in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(3), e20180583. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180583>

- 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>
- Pimentel, N. T., Rocha, P. A., Pedroso, M. A., Bernard, E. (2022). Estimates of insect consumption and guano input in bat caves in Brazil. *Mammal Research*, 67, 355-366. <https://doi.org/10.1007/s13364-022-00629-3>
- Pott, C. M., Estrela, C. C. (2017). Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avançados*, 31(89), 271-283. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>
- Preston, S. M., Raudsepp-Hearne, C. (2017). *Ecosystem service toolkit: Completing and using ecosystem service assessment for decision-making: An interdisciplinary toolkit for managers and analysts*. Ottawa: Environment and Climate Change Canada Enquiry Centre. Disponível em: https://publications.gc.ca/collections/collection_2017/eccc/En4-295-2016-eng.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- Queiroz, D. S., Garcia, M. G. M. (2022). The “hidden” geodiversity in the traditional approaches in ecosystem services: A perspective based on monetary valuation. *Geoheritage*, 14(2), 44. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00676-x>
- Reverte, F.C. (2020). *Avaliação dos impactos à Geodiversidade e ao patrimônio geológico em áreas intensamente urbanizadas: estudo aplicado à Bacia de Taubaté – SP*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 182 p. <https://doi.org/10.11606/T.44.2020.tde-03082020-111042>
- Reverte, F. C., Garcia, M. G. M., Brilha, J., Moura, T. T. (2019). Inventário de geossítios como instrumento de gestão e preservação da memória geológica: exemplo de geossítios vulneráveis da Bacia de Taubaté (São Paulo, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 46(1), e0779. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.93252>
- Ruppert, J., Duncan, R. G. (2017). Defining and characterizing ecosystem services for education: A Delphi study. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(6), 737-763. <https://doi.org/10.1002/tea.21384>
- Sallun Filho, W., Cordeiro, B. M., Karmann, I. (2015). Structural and hydrological controls on the development of a river cave in marble (Tapagem Cave, SE Brazil). *International Journal of Speleology*, 44(1), 75. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.44.1.7>
- 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, Portugal: Universidade do Minho. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/77857>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- Santos, V. M. N., Bacci, D. C. (2017). Proposta para governança ambiental ante os dilemas socioambientais urbanos. *Estudos Avançados*, 31(89), 199-212. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890017>
- 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://bambui.espeleo.files.wordpress.com/2020/04/sbe_2020_posicionamento-minuta-decreto_ass.pdf. Acesso em: 12 maio 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>
- Sharples, C. (2002). *Concepts and principles of geoconservation*. Tasmanian Parks & Wildlife Service. Disponível em: <https://nre.tas.gov.au/Documents/geoconservation.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2022.
- Silverio, M. O. (2015). *Atuação da arquitetura no uso público de cavernas. Conceitos, métodos e estratégias para ocupação. Caverna do Diabo, SP*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP. <https://doi.org/10.11606/D.16.2015.tde-05092015-115147>
- Souza-Silva, M., 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, 279-295. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0414-8>
- Stanley, M. (2000). Geodiversity. *Earth Heritage*, 14, 15-18. Disponível em: <https://www.earthheritage.org.uk/wp/wp-content/uploads/2018/03/EH14-2000.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- Stigall, A. L., Edwards, C. T., Freeman, R. L., Rasmussen, C. M. (2019). Coordinated biotic and abiotic change during the Great Ordovician Biodiversification Event: Darriwilian assembly of early Paleozoic building blocks. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 530, 249-270. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.05.034>

- Stríkis, N. M., Cruz, F. W., Cheng, H., Karmann, I., Edwards, R. L., Vuille, M., Wang, X., de Paula, M. S., Novello, V. F., Auler, A. S. (2011). Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. *Geology*, 39(11), 1075-1078. <https://doi.org/10.1130/G32098.1>
- Trajano, E., Bichuette, M. (2006). *Biologia subterrânea*. São Paulo: Redespeleo. Guia, 138.
- Travassos, L. E. P. (2019). *Princípios de carstologia e geomorfologia cárstica*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/publicacoes/cecav_principiosdecarstologia.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- Urban, J., Radwanek-Bąk, B., Margielewski, W. (2022). Geoheritage Concept in a Context of Abiotic Ecosystem Services (Geosystem Services) – How to Argue the Geoconservation Better? *Geoheritage*, 14(2), 54. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00688-7>
- Van der Meulen, E. S., Braat, L. C., Brils, J. M. (2016). Abiotic flows should be inherent part of ecosystem services classification. *Ecosystem Services*, 19, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.03.007>
- Van Ree, C. C. D. F., Van Beukering, P. J. H. (2016). Geosystem services: A concept in support of sustainable development of the subsurface. *Ecosystem Services*, 20, 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.06.004>
- Watanabe, S., Cano, N. F., Rao, T. G., Silva-Carrera, B. N., Carmo, L. S., Quina, A. J., Gennari, R. F., Munita, C. S., Ayala-Arenas, J. S., Fernandes, B. G. (2016). Dating stalagmite from Caverna do Diabo (Devil's Cave) by TL and EPR techniques. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(4), 2137-2142. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150755>
- Wiederholt, R., López-Hoffman, L., Cline, J., Medellín, R. A., Cryan, P., Russell, A., McCracken, G., Diffendorfer, J., Semmens, D. (2013). Moving across the border: modeling migratory bat populations. *Ecosphere*, 4(9), 1-16. <https://doi.org/10.1890/ES13-00023.1>
- Wilkinson, D. M., Nisbet, E. G., Ruxton, G. D. (2012). Could methane produced by sauropod dinosaurs have helped drive Mesozoic climate warmth? *Current Biology*, 22(9), R292-R293. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.042>
- Williams, P. (2008). *World heritage caves and karst*. Gland: IUCN. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2008-037.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- Wilson, C.L. (1970). *Man's Impact on the Global Environment: Assessment and Recommendations for Action*. Report of the Study of Critical Environmental Problems. Cambridge: MIT Press, 342 p.
- Woo, K. S., Kim, L. (2018). Geoheritage Evaluation of Caves in Korea: A Case Study of Limestone Caves. *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*. Switzerland: Elsevier, p. 373-386. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00021-6>
- Zhang, X., Shu, D. (2014). Causes and consequences of the Cambrian explosion. *Science China Earth Sciences*, 57(5), 930-942. <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4751-x>