



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip
Fundada em 1º de novembro de 1969
CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



Campinas (SP), 30 de janeiro de 2022.

NOTAS TÉCNICAS DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA (SBE), DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS E DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O ESTUDO DE QUIRÓPTEROS (SBEQ)

Introdução

Em 24 de janeiro de 2022, houve o deferimento parcial, pelo excelentíssimo Ministro do Supremo Tribunal Federal Ricardo Lewandowski, do pedido de Medida Cautelar na Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental 935 DF, ato em parte relevante para a proteção das cavernas de máxima relevância, integrantes do patrimônio espeleológico brasileiro, que possuem valor inestimável para o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

No entanto, a Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), tendo também recebido notas técnicas em apoio da Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBEQ), bem como da Universidade Federal de Lavras (UFLA), considera ainda que a suspensão parcial não garante, ainda que em caráter liminar, a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro com todos os serviços ambientais por ele prestados.

A SBE considera que o Decreto Federal 10.935/2022 deva ter sua eficácia inteiramente suspensa pelo Supremo Tribunal Federal (STF), por apresentar inúmeras inconsistências e armadilhas que favorecem a destruição de cavernas em todo o território nacional.

Para subsidiar em bases técnico-científicas a oposição de possíveis embargos de declaração, respeitosamente encaminhamos cinco notas técnicas em variados campos do conhecimento científico, a saber, meio físico (geociências), biologia (biologia subterrânea, quiróptero-fauna, ecologia), arqueologia e paleontologia.

Ex positis, o conjunto de documentos anexados compõe-se de:

1. Nota Técnica (Meio Físico)
2. Nota Técnica (Biologia Subterrânea)
3. Nota Técnica (Quiróptero-fauna)
4. Nota Técnica (Arqueologia)
5. Nota Técnica (Paleontologia)

Atenciosamente,

José Roberto Cassimiro
Presidente da Sociedade Brasileira de Espeleologia



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip
Fundada em 1º de novembro de 1969
CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



Nota sobre o impacto do Decreto 10.935/2022 na geodiversidade de cavernas

Dr. Henrique Simões Pontes¹ e Me. Luciana de Resende Alt²

¹Vice-Presidente da SBE e ²Sócia da SBE

O Decreto 10.935/2022, ao permitir a destruição total ou parcial de cavernas de máxima relevância, pode causar perdas irreversíveis de elementos da geodiversidade. Conforme Massuqueto (2020), estes elementos incluem feições e processos geológicos e geomorfológicos, ou seja, estão associados aos elementos abióticos das cavernas, tais como espeleogens (geoformas), depósitos minerais secundários (espeleotemas), depósitos clásticos (incluindo os solos e conjuntos de fragmentos de rochas de diversas dimensões consolidados ou não), formas e padrões de desenvolvimento de galerias, fósseis, icnofósseis, estruturas geológicas e os aspectos hidrológicos.

Os elementos da geodiversidade estão associados às funções geossistêmicas das cavernas. As cavernas não estão isoladas na paisagem, mas fazem parte de um complexo sistema de condutos subterrâneos, fraturas e outros espaços por onde circula a água subterrânea (carste) e também parte da fauna. Permitir impactos em cavernas de máxima relevância comprometerá importantes sistemas ambientais associados a elas.

Os aquíferos cársticos, armazenam significativos volumes de água e são relevantes para o abastecimento de várias cidades brasileiras, como por exemplo as cidades de Sete Lagoas, Vazante e parte da região metropolitana de Belo Horizonte, em Minas Gerais; parte da região metropolitana de Curitiba, no Paraná; Irecê, na Bahia; Mossoró, no RN, entre várias outras. Em períodos de estiagem as águas subterrâneas tem papel fundamental para a manutenção de rios, lagoas e lagos superficiais, assim, as cavernas e suas áreas de influência são estratégicas para o abastecimento público e possuem Utilidade Pública.



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip
Fundada em 1º de novembro de 1969
CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



Os aquíferos cársticos são mais frágeis, complexos e vulneráveis à contaminação hídrica, pois preenchem uma rede pouco conhecida de fraturas, condutos e porosidades no subsolo, que favorecem o transporte de contaminantes por grandes distâncias, a velocidades significativas e em rotas de difícil predição. A descontaminação desses ambientes é geralmente muito dispendiosa, e em alguns casos pode ser pouco efetiva, já que contaminantes podem permanecer presos em bolsões de difícil acesso, liberando poluentes no sistema. A intensificação do uso do carste, perpetrada pelo Decreto 10.935/2022, que permite a destruição de cavernas de máxima relevância, e conseqüentemente de sua área de influência, pode ter implicações danosas, na disponibilidade e qualidade hídrica para abastecimento e uso humano, podendo potencialmente comprometer outras atividades também de utilidade pública.

Além disso, os aquíferos cársticos possuem importante papel associado à estabilidade geotécnica de algumas regiões. Conjuntos de vazios no subsolo, associados à sistemas de fraturas, quando preenchidos por água, apresentam certa estabilidade geotécnica, pois a água gera pressão positiva sobre as paredes rochosas. Quando ocorre o bombeamento excessivo de água, por atividades minerárias, agropecuárias, para o abastecimento humano ou outras atividades, alguns desses vazios podem se desestabilizar, induzindo o abatimento do solo, denominado dolinamento. Este pode acontecer sem sinais prévios denunciadores, podendo causar acidentes graves que envolvem a ruína total ou parcial de edificações. A subsidência do solo pode também ocorrer por processos naturais, relacionados a evolução do sistema cárstico. No Brasil já foram registrados danos por subsidência em áreas urbanas, podendo estes ser decorrentes de causas naturais ou induzidos pela ação antrópica. Dentre as principais ocorrências destacam-se abatimentos do solo ocorridos em Sete Lagoas e Vazante (MG), Cajamar (SP), Colombo e Almirante de Tamandaré (PR). Com a urbanização os problemas de subsidência do solo podem ser exacerbados pela concentração de fluxos de drenagem superficiais, sobrecarga no terreno, modificações na



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip
Fundada em 1º de novembro de 1969
CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



estrutura do solo, desvios ou represamentos da água, rebaixamento do nível freático e preenchimento das feições cársticas. Podendo potencialmente gerar perdas de vidas humanas, perdas e danos materiais, dentre outros problemas.

Ao permitir que o órgão ambiental licenciador autorize a destruição total ou parcial de cavernas de máxima relevância por atividades ou empreendimento considerados “de utilidade pública” (conforme os incisos I, II, III e IV do Art. 4º do Decreto 10.935/2022), impedindo apenas os casos que geram a extinção de espécie que conste na cavidade impactada, os aspectos da geodiversidade são totalmente desqualificados e ficam em sério risco de degradação.

O decreto também excluiu dos atributos que classificam uma cavidade subterrânea como de máxima relevância as condicionantes morfologia única, isolamento geográfico e cavidade testemunho, conforme o § 4º do Art. 2º. Tais atributos estão totalmente associados à geodiversidade dos ambientes subterrâneos, uma vez que morfologia única está associada à morfologia de galerias e presença de feições geológicas do tipo espeleogens, estruturas que revelam os processos espeleogenéticos atuantes na cavidade. Há determinadas geoformas que são raras e apresentam significativo valor científico. O isolamento geográfico e a cavidade testemunho são critérios que também estão relacionados aos aspectos geológicos, pois há tipos de rochas em que a ocorrência de cavernas é mais rara e, por si só, a existência de uma cavidade deve ser considerada de máxima relevância.

Por fim, o Decreto 10.935/2022 desconsidera a riqueza e as diferentes potencialidades da geodiversidade de cavernas no Brasil em relação à diversidade geológica do território nacional. A existência de cavernas em diferentes litotipos (em rochas calcárias, areníticas, quartzíticas, graníticas, ferríferas etc.) proporciona imensa riqueza geológica destes ambientes, que podem apresentar diferentes classificações de raridade, beleza, profusão, importância dependendo do tipo de rocha em que estão formadas. Espeleotemas únicos, com formas e



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip
Fundada em 1º de novembro de 1969
CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



composição química rara, ou de grande beleza cênica, alguns inclusive desenvolvidos por atividade microbiana, poderão ser degradados. Grande parte das cavernas de máxima relevância ainda são ainda pouco conhecidas pela ciência, principalmente quando se trata da interação entre microrganismos e rocha. Nesse campo existe grande potencial de descobertas importantes como, por exemplo, de princípios ativos para medicamentos.

Assim, conclui-se que o Decreto 10.935/2022 ignora a importância dos elementos da geodiversidade de cavernas no Brasil, possibilitando elevado risco de impactos negativos irreversíveis ao patrimônio geológico e enfraquecendo os dispositivos legais que buscam garantir a geoconservação de cavernas a nível nacional.

A liberação de impactos em cavernas de máxima relevância poderá ainda trazer perdas patrimoniais de grande magnitude para a população brasileira, pois muitas dessas cavernas abrigam vestígios arqueológicos relevantes para a compreensão da história de ocupação do Brasil e das Américas pelo homem.

As cavernas possuem grande estabilidade ambiental e climática, favorecendo a preservação de fósseis de animais, muitos deles extintos, como o Tigre-Dente-de-Sabre e a Preguiça Gigante. Impactos em caverna de máxima relevância podem destruir esse patrimônio científico ainda pouco conhecido, e que pode nos mostrar detalhes importantes sobre a história ambiental do planeta.

Estarão também sob risco preciosos arquivos paleoclimáticos armazenados nas estalagmites de cavernas, que além de fornecerem informações sobre o comportamento do clima no passado colaboram para o refinamento de modelos de simulação climática ajudando os cientistas a prever as mudanças climáticas modernas.

As cavernas são um grande atrativo turístico em várias regiões do mundo, devido à sua beleza cênica, importância científica e ambiental. Estima-se que o Brasil possua mais de uma centena de cavernas turísticas. Essas recebem centenas de milhares de visitantes por ano, abrigando importantes atividades de



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip

Fundada em 1º de novembro de 1969

CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



educação, recreação e manifestações religiosas, movimentando a atividade turística e econômica em diversas regiões brasileiras. Várias dessas cavernas estão fora de unidades de conservação de proteção integral, e podem sofrer severamente com a mudança da legislação. Alguns exemplos: Gruta da Mangabeira; Gruta do Santuário do Bom Jesus; Lapa Doce e Torrinha e as cavernas de São Desidério na Bahia; Lapa Velha de Vazante, a Gruta do Salitre, em Minas Gerais; Abismo Anhumas, em Bonito, Mato Grosso do Sul e muitas outras.

Referências

MASSUQUETO, L.L. Metodologia de inventário de cavidades naturais subterrâneas para classificação da relevância espeleológica em diferentes litotipos e diretrizes adequadas de geoconservação no Brasil. 2020. 202f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, Curitiba, 2020.

Necessidade da revogação do decreto 10.935/2022 para a proteção do patrimônio bioespeleológico brasileiro.

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira & Dr. Marconi Souza Silva
Centro de Estudos em Biologia Subterrânea
Universidade Federal de Lavras

Há pouco mais de dois anos, um manifesto trouxe um alerta global à sociedade sobre a necessidade de ações emergenciais para a conservação de ecossistemas subterrâneos em todo o mundo (Mammola et al 2019). Tal documento foi endossado por um grupo de 24 especialistas em biologia subterrânea, representantes de universidades, ONG's, empresas públicas e privadas (incluindo a União Internacional para Conservação da Natureza - IUCN) de 14 países (Áustria, Austrália, Alemanha, Brasil, Croácia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Eslovênia, França, Finlândia, Itália, Romênia e Portugal). O objetivo principal do artigo foi o de discutir algumas tendências alarmantes relacionadas à conservação dos ecossistemas subterrâneos, que representam, por sua vez, alguns dos ambientes mais exclusivos, isolados e pouco estudados do planeta. Os autores do referido trabalho destacaram que os **ecossistemas subterrâneos compreendem uma das mais importantes fronteiras da exploração moderna**, principalmente pelo fato de que a maioria dos lugares acessíveis na Terra já foi mapeada ou explorada direta ou indiretamente, excetuando-se os ambientes marinhos profundos e as cavernas (Mammola et al 2019).

Esta carência de conhecimento se deve ao fato que os ambientes subterrâneos não se restringem às cavernas com amplas aberturas em superfície. A maioria dos vazios subterrâneos não possuem entradas acessíveis aos seres humanos. Além disto, existe uma ampla rede de fissuras e espaços, inacessível ao homem, mas que também representam o habitat para muitas das espécies. Águas subterrâneas, por sua vez, compreendem 95% da água doce não congelada do planeta e hospedam organismos especializados, além de numerosas espécies que são importantes para manter a qualidade destas águas. Toda a relevância destes ambientes já pode ser notada sem mesmo lançar mão da vida microbiana. Uma grande quantidade de fungos e bactérias com amplo potencial biotecnológico está oculta nesses ecossistemas (Magnabosco et al. 2018).

Para tomar decisões sólidas visando a conservação de ecossistemas subterrâneos, existe a urgente necessidade de acelerar a pesquisa científica, destinada a explorar a biodiversidade subterrânea juntamente com os fatores abióticos e bióticos que conduzem seus padrões de distribuição no espaço e no tempo. As poucas estimativas disponíveis (por ex. Zagnajster et al. 2018) sugerem que a maioria das espécies subterrâneas obrigatórias em todo o mundo ainda não foi descrita. A primeira consideração, enfatizando a importância de proteger estes ecossistemas, surge quando observamos as fascinantes mudanças evolutivas que muitos animais sofreram para se adaptar à vida subterrânea. Espécies **troglóbias (exclusivamente subterrâneas)** são produto de raros eventos da evolução, e seus habitats representam fontes de descobertas científicas inesperadas. O estudo dessas espécies notáveis nos permite extrapolar fora dos limites de nossa própria imaginação, explorando adaptações biológicas únicas (Soares & Niemiller 2013, Yoshizawa et al. 2014, 2018a,b), aprendendo sobre processos ecológicos e evolutivos fundamentais (Juan et al. 2010, Mammola 2018) e até mesmo obtendo informações que auxiliem na saúde humana (Riddle et al.

2018, Yoshizawa et al. 2018b). Além disso, os sistemas subterrâneos desempenham um papel crítico na regulação e provisão de serviços ecossistêmicos (Mammola et al 2019).

A perda e a degradação de habitats subterrâneos estão ocorrendo em muitas regiões do mundo. Em vários casos, a perturbação destes habitats é direta, embora frequentemente localizada espacialmente. Como exemplo, podem ser citadas as atividades de mineração, as atividades de construção e desenvolvimento de infraestruturas (como a perfuração de túneis e a construção de estradas nas áreas cársticas) e o desenvolvimento hidrelétrico, dentre outros. Todas estas atividades intensificam o desmatamento, a urbanização e impulsionam atividades industriais que direta ou indiretamente atuam sobre estas áreas. A degradação resultante destas atividades pode reduzir populações de espécies subterrâneas ou resultar na extinção de espécies endêmicas (Mammola et al 2019).

O recém-publicado decreto 10.935, que permite a supressão de cavidades de máxima relevância, vai na contramão das tendências atuais (e **mundiais**) de conservação de ecossistemas subterrâneos. Muita embora o referido decreto sugira que a nova forma de avaliação elevará o grau de proteção das cavernas, **inexistem dados científicos que suportem esta afirmativa**. De forma contrária ao exposto no decreto, a supressão de cavernas de máxima relevância abrirá a possibilidade de uma **perda de espécies únicas sem precedentes na história do país**. Nesta perspectiva, este documento objetiva expor, com base em dados empíricos e projeções, as perdas potenciais e irreparáveis que podem advir da permissão de supressão de cavernas de máxima relevância.

Os conceitos biológicos mencionados dentre os critérios que classificavam uma caverna em grau máximo de relevância pelo decreto anterior (6.640) são de amplo conhecimento. Ainda assim, importantes critérios foram removidos no atual decreto, como a óbvia necessidade de se preservar espécies **endêmicas** ou **relictas**, que deixaram de ser consideradas para elevar cavernas à categoria de máxima relevância. Assim, o objetivo deste documento é demonstrar os graves erros conceituais e técnicos do decreto 10.935, bem como seus consequentes e iminentes riscos que poderão levar a perdas irreparáveis ao patrimônio espeleológico nacional (e mesmo mundial, considerando espécies únicas que socorrem no nosso país).

Para tal, **cinco abordagens** serão aqui utilizadas, a saber: **i)** a gravidade e riscos da remoção de espécies troglóbias **endêmicas** e **relictas** como critérios de classificação de cavernas como de máxima relevância; **ii)** o risco de destruição de cavernas contendo espécies troglóbias **raras**; **iii)** o crescimento no número de espécies troglóbias descritas ao longo do tempo no Brasil; **iiii)** o número potencial de espécies troglóbias existente no território nacional e **iiiii)** exemplos específicos referentes à existência de singularidades faunísticas (incluindo evidências da existência de identidade biogeográfica subterrânea) sujeitas a perdas irreparáveis.

A **primeira abordagem** tratada neste documento diz respeito aos riscos da remoção de espécies troglóbias endêmicas e relictas como critérios de classificação de cavernas como de máxima relevância. No intuito de compreendermos a gravidade da exclusão de troglóbios endêmicos e relictos, é necessário primeiramente definir estes termos. O termo **endemismo** foi originalmente proposto por A. P. de Candolle (1855) para definir a distribuição de um organismo em uma área geográfica limitada. No entanto, existem diferentes tipos de endemismo. O **Paleoendemismo** significa que uma espécie apresentava uma ampla

distribuição no passado, mas agora vive em uma área menor. Espécies paleoendêmicas são frequentemente táxons isolados cujas áreas de distribuição representam os remanescentes de faixas de distribuição originalmente maiores que foram reduzidas devido a mudanças ambientais. O **Neoendemismo**, por sua vez, significa que uma espécie teve origem recente e está intimamente relacionada com a área de distribuição de sua espécie ancestral. Esse é um processo especialmente comum em plantas poliploides. Essas espécies em geral resultam da adaptação divergente a diferentes condições ambientais, levando à formação de novas espécies distribuídas localmente. Além disso, existem os chamados organismos **Autoendêmicos**, que são aqueles que evoluíram ou especiaram dentro da área de sua atual distribuição. Alternativamente, existem os **Aloendêmicos**, que se originaram em um local, se dispersaram até sua localidade atual e tornaram-se extintos no local de origem. Esses últimos também são chamados de **Relictos**.

Relictos podem ser definidos como populações ou espécies que são severamente restritas em termos de distribuição geográfica. Existem dois tipos de relictos: os chamados relictos taxonômicos (ou filogenéticos) e os relictos biogeográficos. Os relictos **taxonômicos** compreendem os poucos (ou únicos) sobreviventes de uma assembleia anteriormente vasta de organismos. Já os relictos **biogeográficos** compreendem grupos que descendem de táxons ou populações amplamente distribuídas no passado, mas que atualmente possuem uma distribuição restrita (Grandcolas et al., 2014).

Embora a definição por ausência seja sempre um problema na ciência, há três critérios que, especialmente quando combinados, podem ser usados para caracterizar relictos (Grandcolas et al., 2014): *i*) se o registro fóssil documentar extinções que foram razoavelmente completas para o grupo de estudo; *ii*) se a área de distribuição do relictos é muito menor ou extremamente disjunta em relação à área de seu grupo irmão, sem evidência de origem por dispersão; e *iii*) se a árvore molecular tem uma forma possivelmente indicando extinções, apoiando a hipótese de que o táxon relictos está na ponta de um longo ramo “verdadeiro” ou bem suportado. No entanto, a documentação fóssil tende a ser deficiente para a maioria dos grupos, o que torna esse critério pouco aplicável (especialmente quando se consideram espécies troglóbias, para as quais raríssimos fósseis são conhecidos - e.g., *Marifugia cavatica* - Mihevc et al., 2002). Além disso, os ramos em árvores moleculares são sensíveis ao método de reconstrução utilizado, o que pode trazer dificuldades na utilização desse critério. Assim, especialmente para espécies troglóbias, a melhor forma de detecção de um táxon relictos seria a observação de sua **distribuição**, na tentativa de verificar se ela é muito menor ou extremamente disjunta em relação à área de seu grupo irmão.

Os relictos podem ainda fornecer indicadores dos possíveis caracteres que permitiram que sobrevivessem a extinções regionais ou, por outro lado, se a extinção foi puramente estocástica (Grandcolas et al., 2014). A modelagem de nicho de espécies relictas diante de mudanças ambientais pode ajudar a elucidar por que tais espécies sobreviveram, a partir de vários cenários de mudanças. Espécies relictas seriam generalistas que se adequaram a um ambiente em contínua mudança ou especialistas que permaneceram em refúgios pequenos e estáveis? No caso de espécies troglóbias, as cavernas podem ter funcionado como refúgios, permitindo sua continuidade. Mas indubitavelmente existem tipos distintos de relictos em cavernas brasileiras, que merecem ser estudados em maior profundidade no intuito de se compreender como evoluíram.

Relictos também são extremamente importantes na perspectiva da biologia de conservação. Eles tendem a ser táxons altamente distintos na biota moderna, representantes de grupos maiores que parcialmente desapareceram. Nessa perspectiva, eles podem certamente revelar como era a diversidade do passado, tendo, assim, um elevado valor patrimonial (Grandcolas et al., 2014).

No Brasil, existem exemplos de troglóbios relictos, tanto geográficos como taxonômicos. Dentre os relictos geográficos, destacam-se os isópodes Cirolanidae encontrados em cavernas do Rio Grande do Norte (Ferreira et al., 2010) e Ceará. Essas espécies advêm de grupos cuja distribuição é predominantemente marinha, tendo evoluído a partir de ancestrais marinhos "aprisionados" em espaços subterrâneos após uma transgressão e posterior regressão oceânica pretérita. Além dos cirolanídeos, as cavernas do oeste potiguar também apresentam outros relictos geográficos, como anfípodes (Fiser et al., 2013) e turbelários (Leal-Zanchet et al., 2014). Dentre os relictos taxonômicos, destacam-se os isópodes Calabozoidea existentes em cavernas da Bahia (Messana et al., 2002; Prevorecnik et al., 2012) e crustáceos Spelaeogriphacea de cavernas do Mato Grosso do Sul (Pires, 1987). É nítida, desta forma, a necessidade de proteção de espécies troglóbias endêmicas e relictas, que de fato são testemunhos de distribuições pretéritas mais extensas ou produtos de rápida especiação. Tais espécies certamente podem revelar importantes processos como conectividade pretérita de diferentes habitats ou biomas, bem como possuir especializações únicas, merecendo proteção integral. Por fim, destaca-se que **espécies endêmicas ou relictas não são necessariamente raras**, de modo que proteger exclusivamente as espécies troglóbias raras certamente representa a potencial perda de diversas espécies endêmicas ou relictas.

A **segunda abordagem** aqui apresentada discute o risco de destruição de cavernas contendo espécies troglóbias raras com consequente possibilidade de extinção destas espécies. Um dos mais clássicos trabalhos referentes à conceituação de **raridade** foi publicado por Deborah Rabinowitz em 1981. Essa autora propôs uma tipologia de raridade baseada em três aspectos referentes à distribuição das espécies, em três escalas de análises: *i*) área de distribuição geográfica (ampla versus restrita), *ii*) especificidade de hábitat (especialista versus generalista) e *iii*) densidade local ou tamanho populacional (grande versus pequeno). Ranqueando as espécies em cada uma dessas escalas, oito combinações foram produzidas, sete das quais Rabinowitz considerou como tipos de "raridades" (Anexo I). Mas como aplicar esses modelos às espécies troglóbias? A maior parte das espécies troglóbias conhecidas tende a apresentar distribuição restrita (muitas vezes a uma única caverna), densidades populacionais pequenas e elevada especificidade de hábitat. Assim, *a priori*, a maior parte das espécies troglóbias se encaixaria no nível mais extremo de raridade proposto por Rabinowitz (categoria "H" do Anexo I). Dessa forma, em uma primeira análise, é possível aceitar que a maior parte das espécies troglóbias poderia ser considerada rara (em algum nível elevado de raridade). No entanto, no Brasil, o que é considerado para efeitos de legislação foi o estabelecido em um workshop realizado sobre troglóbios raros em 2011. Neste workshop, que reuniu diversos especialistas, foi definido, **de forma arbitrária**, que troglóbios raros seriam aquelas espécies encontradas em até três cavernas ou com um único exemplar coletado por caverna, independentemente do número de cavernas. Assim, do ponto de vista prático, o que atualmente é considerado na legislação brasileira já é uma noção bastante restritiva do que seria um troglóbio raro.

Mas por que espécies raras são importantes? Esta resposta é simples: entre dado conjunto de espécies, as raras terão maior risco de extinção do que as comuns (Johnson, 1998; Matthies et al., 2004). Populações pequenas são mais propensas a ser afetadas por eventos estocásticos (demográficos e ambientais), como doenças, inundações, a dificuldade (ou impossibilidade) em encontrar parceiro, dentre outras causas. Além disso, populações pequenas podem aumentar seu coeficiente de endogamia, potencializando as possibilidades de genes deletérios se manifestarem, e também reduzindo a habilidade da espécie em se adaptar às eventuais mudanças nas condições ambientais (Ellstrand & Elam, 1993; Lande, 1995).

Espécies raras podem desempenhar funções-chave em diferentes ecossistemas. Um exemplo disso foi demonstrado por Marsh e colaboradores (2000). Tais autores verificaram que “cavalinhas” (Pteridófitas do gênero *Equisetum*), presentes no Alasca, embora representassem menos de 5% da biomassa vegetal, desempenhavam importantes serviços ecossistêmicos, que iam desde o “bombeamento” de nutrientes limitantes (como fósforo) de camadas profundas do solo e sua disponibilização em camadas mais superficiais até o enriquecimento de minerais no solo (Marsh et al., 2000). Quando cada espécie rara é considerada individualmente, seus efeitos sobre o funcionamento de ecossistemas podem ser inócuos. No entanto, considerando diversas espécies raras, seus efeitos agregados podem atuar no funcionamento de ecossistemas (Schwartz, 2000). Estudos demonstraram, por exemplo, que a remoção de diversas espécies raras de um plote experimental aumentava a suscetibilidade da área a invasões biológicas. Outro estudo mostrou que espécies raras de abelhas possuíam efeitos agregados na polinização de plantas (Kremen et al., 2002), de modo que a perda destas espécies poderia implicar perdas em polinização.

Assim, embora aspectos da história de vida de boa parte das espécies troglóbias brasileiras sejam ainda desconhecidos, é possível que muitas delas, mesmo sendo raras, possam ter importância crucial (seja individualmente ou de forma agregada) para o funcionamento dos ambientes subterrâneos onde habitam.

Além disso, por mais que o decreto 10.935 assuma que nenhuma espécie poderá ser extinta, **não há quaisquer garantias de que a destruição de cavernas de máxima não levará uma dada espécie à extinção**. Muito antes pelo contrário: tendo em vista a qualificação pouco restritiva de troglóbios raros (por exemplo, ocorrência em até três cavernas) **há enormes possibilidades de que espécies troglóbias sejam extintas** caso cavernas sejam destruídas. Como exemplo, imaginemos uma espécie considerada troglóbia que tenha sido encontrada em três cavernas. O atual decreto permite que duas delas sejam destruídas, desde que uma destas cavernas permaneça, assim “garantindo” a persistência da espécie. No entanto, a referida espécie pode necessitar das três cavernas para perpetuação, caso seja uma espécie com dinâmica metapopulacional e que dependa de fluxo gênico entre as três subpopulações. Neste exemplo, **a destruição de uma ou duas cavernas levaria à extinção da espécie, mesmo que uma das cavernas fosse preservada**.

Dessa forma, é essencial a manutenção de mecanismos que assegurem a proteção e a conservação dessas espécies. Seus efeitos na conservação e no funcionamento dos ecossistemas subterrâneos bem como sua eventual aplicação em outras áreas da ciência (como em biotecnologia) só poderão ser garantidos caso sejam estudadas e, para isto, devem estar protegidas.

A **terceira abordagem** tratada neste documento diz respeito ao crescimento no número de espécies troglóbias descritas ao longo do tempo no Brasil. Os estudos relacionados à fauna cavernícola no Brasil têm passado por profundas transformações desde sua origem. Descrições de novas espécies cavernícolas ocorriam de forma esporádica no passado, tendo em vista que esta ciência ainda não era bem estabelecida no país. Entretanto, a partir de 2008, com a publicação do decreto 6.640, não somente intensificaram-se os estudos em cavidades naturais subterrâneas, mas também passaram a acontecer políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento desta ciência com a finalidade de formação de profissionais e produção de conhecimento que pudesse auxiliar nos processos de licenciamento. Assim, muitas cavernas têm sido inventariadas e inúmeras espécies descobertas. Surgiu, então, a necessidade em dar celeridade às descrições de espécies, estimulada especialmente por meio de editais públicos. Ao analisarmos o gráfico de número de novas espécies descritas ao longo do tempo no país (Anexo II), percebe-se uma ascendente, que especialmente após a publicação do decreto 6.640, tornou-se exponencial. Tal fato revela a enorme quantidade de espécies que vêm sendo descobertas e descritas a cada ano. No momento, há **263** espécies estritamente subterrâneas (troglóbias) descritas para o Brasil. No entanto, cabe destacar que **centenas de espécies troglóbias ainda aguardam por descrições** em coleções biológicas. É notório, desta forma, que a fauna troglóbia brasileira ainda é **amplamente desconhecida**. Caso fosse bem conhecida, seria esperado que os gráficos abaixo tendessem a uma assíntota, o que claramente não é observado.

A **quarta abordagem** considera o número potencial de espécies troglóbias existentes no território nacional, cujos cálculos das estimativas são explicados no Anexo III. É importante destacar que metodologia proposta para se alcançar tais estimativas foi proposta pelos autores deste documento. Considerando os cálculos explicitados no anexo III, o número potencial de espécies troglóbias existentes em território nacional foi projetado como correspondente a **2.722** espécies para cavernas carbonáticas, **322** espécies para cavernas ferríferas e **295** espécies para cavernas siliciclásticas, o que resulta em um total de **3.339 espécies**. É importante destacar que estas projeções foram baseadas no número de cavernas **cadastradas** no país que sabidamente é **bastante inferior** ao número real. Optou-se pelo uso das cavernas já cadastradas em função do fato de que projeções sobre o número total de cavernas no país, embora existam, são ainda muito grosseiras, o que poderia levar a estimativas muito infladas do número potencial de espécies. Somando-se este total potencial ao já conhecido em literatura e dados provenientes de coleções biológicas, é plausível assumir que o país contenha, minimamente, cerca de **4000** espécies troglóbias ainda não descritas. Neste ponto retorna-se ao ponto focal deste documento: **a permissão de supressão de cavernas de máxima relevância poderá levar à perda irremediável de centenas de espécies troglóbias, a grande maioria ainda não descrita ou sequer descoberta.** Salienta-se aqui que o número de inventários requeridos em processos de licenciamento ambiental (2 amostragens) é **irrisório, estando muito aquém do necessário** para ser ter um bom conhecimento acerca da fauna de uma dada cavidade, o que agrava sobremaneira este quadro. A exemplo disso, cavernas consideradas como “Hotspots” de biodiversidade subterrânea (cavernas ou sistemas com 20 ou mais espécies troglóbias) quase sempre foram reconhecidas após **diversas amostragens**, que resultaram no descobrimento de espécies raras, e de difícil registro. A exemplo disso, algumas espécies troglóbias brasileiras são conhecidas somente

por meio de seus holótipos, **havendo somente um único exemplar conhecido**, mesmo em casos onde diversas coletas na localidade tipo já foram realizadas.

É importante mencionar que projeções de números potenciais de espécies são extremamente úteis para o estabelecimento de diretrizes de pesquisa e conservação. A exemplo disso, Mora e colaboradores (2011) projetaram a existência de cerca de 8,7 milhões de espécies no planeta, das quais 6,5 milhões são terrestres. Infelizmente, espécies subterrâneas aparentemente não foram consideradas nas projeções dos referidos autores, o que indica o elevado nível de desconhecimento sobre o número potencial de espécies cavernícolas existentes no mundo.

As projeções aqui apresentadas consideraram somente três grupos de rochas. Desta forma, cavernas associadas a outras litologias, como em rochas granitoides, por exemplo, não foram utilizadas, por falta de estudos sistemáticos locais, o que impediu a inclusão nestas análises. No entanto, assume-se que a inclusão de outras cavernas certamente aumentaria o número potencial de espécies troglóbias. Assim, o número aqui obtido (**3.339 espécies**) dever ser considerado uma estimativa **cautelosa**.

Por fim, ainda dentro desta linha de argumentação, é fundamental enfatizar que muitas destas espécies tendem a se enquadrar, minimamente, em algum dos critérios anteriormente considerados na classificação de uma caverna como de máxima relevância (são raras, endêmicas ou, em menor frequência, relictas), pois esta é a tendência que tem sido mostrada pelas espécies já descritas no país (cerca de 66% das espécies troglóbias brasileiras descritas enquadram-se em algum destes critérios). Desta forma, o número projetado de espécies troglóbias para o Brasil, **em grande parte, estará diretamente associado a habitats que, a priori, deverão ser enquadrados em máxima relevância**. Este é o motivo pelo qual cavidades de máxima relevância definitivamente não podem ter sua conservação ameaçada: **elas potencialmente abrigam uma porcentagem significativa das espécies troglóbias brasileiras**.

A **quinta abordagem** aqui considerada consiste em reflexões sobre perdas irreparáveis de comunidades biológicas (não somente de espécies isoladas) caso seja autorizada a supressão de cavernas de máxima relevância. Como exemplo, pode-se citar a Gruta do Éden, localizada no município de Pains (Minas Gerais). Tal caverna é absolutamente singular dentro de uma região de extrema importância no país, considerada a maior concentração de cavernas conhecidas para a América do Sul. A gruta do Éden possui uma grande quantidade de espécies troglóbias (14 espécies) além de apresentar uma comunidade de composição completamente diferenciada quando comparada a outras cavernas (mais de 2000) existentes da mesma província (Ferreira, 2019). Esta caverna foi alvo de impactos provenientes de mineração no passado (parte de algumas galerias superiores foi destruída por esta atividade) e sua eventual supressão representaria uma perda irreparável, pois não existe nenhuma outra caverna no mundo que poderia compensar seus atributos. Como esta caverna, existem centenas de outras, cujos atributos são insubstituíveis.

Por fim, ainda dentro desta linha de argumentação, um trabalho em fase de finalização traz dados que claramente suportam a existência de **identidade biogeográfica** em comunidades subterrâneas terrestres (Rabelo & Ferreira, in prep. - Anexo IV). A partir de modelos considerando características climáticas, da paisagem e similaridade faunística entre comunidades de 249 cavernas localizadas no estado de Minas Gerais (avaliando a

distribuição de 3469 espécies de artrópodes), foi possível delimitar 23 regiões com identidades biogeográficas distintas. Os fatores determinantes da identidade biogeográfica das comunidades cavernícolas, considerando todas as espécies, demonstram que essas comunidades respondem às barreiras geográficas já conhecidas para as espécies dos ecossistemas epígeos. No entanto, ao considerar apenas as espécies troglóbias com maior confiabilidade de distribuição, obteve-se que, diferentemente da tendência das comunidades como um todo, a distribuição das espécies troglóbias responde a características do clima e potencial conectividade subsuperficial. A combinação de fatores que determinaram cada unidade biogeográfica obtida foi variável, demonstrando que a importância dos atributos da paisagem e do clima são distintos para cada unidade.

Na prática, esta nova concepção de como as comunidades subterrâneas se estruturam no espaço tem implicações diretas para a conservação destes ecossistemas. Na atualidade, aceita-se a compensação de uma dada caverna por outras, com atributos semelhantes. O que muitas vezes ocorre, na prática, é que cavernas de uma dada área, ao serem destruídas, são compensadas por cavernas existentes em outras regiões, mantendo-se a litologia e, eventualmente, o mesmo grupo geológico das cavernas suprimidas. No entanto, os modelos gerados por Rabelo & Ferreira (in prep.) indicam a existência de identidades diferenciadas mesmo dentro de uma mesma unidade geológica. Como exemplo, na figura mostrada no anexo IV (A), percebe-se a existência de 10 regiões de identidades distintas dentro da formação Bambuí, somente no estado de Minas Gerais. **A supressão de uma dada caverna em uma destas unidades jamais deveria ser compensada com cavernas de outra unidade (mesmo dentro da mesma formação geológica), pois a fauna é significativamente distinta.** Somando-se a este cenário a possibilidade de supressão de cavernas de máxima relevância (que em geral congregam boa parte das espécies troglóbias de uma dada área) **as perdas seriam incalculáveis.**

Considerando todos os argumentos anteriormente citados, torna-se nítida a **impossibilidade de supressão de cavernas de máxima relevância.** Os danos reais e potenciais decorrentes destas supressões consistiriam em perdas irreparáveis para a biodiversidade subterrânea não somente brasileira, mas mundial, dadas as singularidades da fauna subterrânea neotropical, especialmente representada pela fauna brasileira, país que congrega boa parte das áreas com ocorrências de cavernas no continente sul-americano.

Referências bibliográficas

- Bento, DM. (2011). Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. 162 p. (Mestrado em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
- Culver DC, Pipan T, Gottstein S (2006) Hypothelminorheic - a unique freshwater habitat. *Subterranean Biology* 4: 1-7.
- Ellstrand, N. C.; Elam, D. R. (1993). Population genetic consequences of small population size: Implications for plant conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24:217-42.

- Ferreira, R. L. (2010). *Biologia subterrânea: conceitos gerais e aplicação na interpretação e análise de estudos de impacto ambiental*. In Cruz, J. B., & Piló, L. B. *Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.
- Ferreira, R. L.; Prous, X.; Bernardi, L. F. O.; Silva, M. S. (2010). Fauna subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos. *Revista Brasileira de Espeleologia*, 1: 25-51.
- Ferreira, R. L., de Oliveira, M. P. A., & Souza-Silva, M. (2020). Biospeleology of the Lagoa Santa Karst. In *Lagoa Santa Karst: Brazil's Iconic Karst Region* (pp. 187-208). Springer, Cham.
- Fiser, C.; Zigmajster, M.; Ferreira, R. L. (2013). Two new Amphipod families recorded in South America shed light on an old biogeographical enigma. *Systematics and Biodiversity* (Print), 11:117-139.
- Grandcolas, P.; Nattier, R.; Trewick, S. (2014). Relict species: a relict concept? *Trends in Ecology & Evolution*, v. 29 (12): 655-663.
- Hoch, H., & Ferreira, R. L. (2012). *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n.—the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 59(2), 201-206.
- Iniesta, L. F. (2016). Prioridades de conservação para cavernas ao Sul de Minas Gerais. 87 190 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- Jaffé R, Prous X, Zampaulo R, Giannini TC, Imperatriz-Fonseca VL, Maurity C, et al. (2016). Reconciling mining with the conservation of cave biodiversity: a quantitative baseline to help establish conservation priorities. *PloS one*, 11(12).
- Johnson, C. N. (1998). Species extinction and the relationship between distribution and abundance. *Nature*, 394: 272-74.
- Juan C, Guzik MT, Jaume D, Cooper SJ. (2010). Evolution in caves: Darwin's "wrecks of ancient life" in the molecular era. *Molecular Ecology* 19: 3865–3880.
- Kremen, C.; Williams, N. M.; Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Science* 99:16812-16816.
- Lande, R. (1995). Mutation and conservation. *Conservation Biology*, 9:782-91.
- Leal-Zanchet, A. M.; Souza, S. T.; Ferreira, R. L. (2014). A new genus and species for the first recorded cave-dwelling Cavernicola (Platyhelminthes) from South America. *ZooKeys* (Online), 442: 1-15.
- Magnabosco C, Lin LH, Dong H, Bomberg M, Ghiorse W, Stan-Lotter H, Pedersen K, Kieft TL, van Heerden E and Onstott TC. (2018). The biomass and biodiversity of the continental subsurface. *Nature Geoscience* 11: 707.
- Mammola S. 2018. Finding answers in the dark: Caves as models in ecology fifty years after Poulson and White. *Ecography* 41: 1-21.
- Mammola, S., Cardoso, P., Culver, D. C., Deharveng, L., Ferreira, R. L., Fišer, C., ... & Isaia, M. (2019). Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. *BioScience*, 69(8), 641-650.

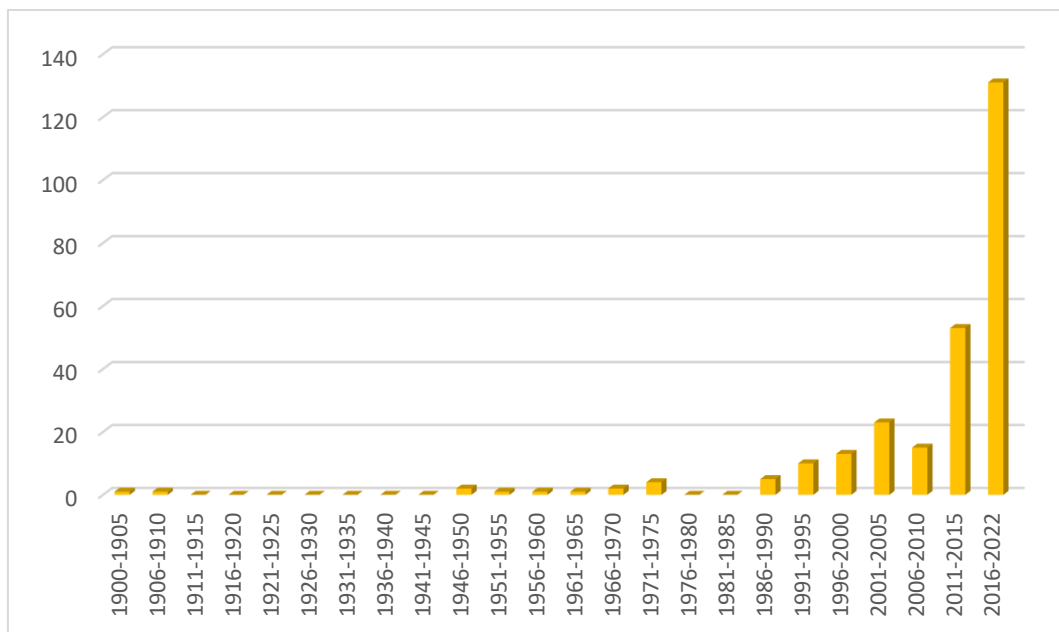
- Marsh, A. S.; Arnone, J. A.; Borman, B. T.; Gordon, J. C. (2000). The role of Equisetum in nutrient cycling in an Alaskan shrub wetland. *Journal of Ecology*, 88:999-1011.
- Matthies, D.; Brauer, I.; Maibom, W.; Tschamtker, T. (2004). Population size and the risk of local extinction: Empirical evidence from rare plants. *Oikos*, 105:481-88.
- Messana, G.; Baratti, M.; Benvenuti, D. (2002). *Pongycarcinia xiphidiourus* n. gen. n. sp., a new Brazilian Calabozoidae (Crustacea Isopoda). *Tropical Zoology*, 15: 243-252.
- Mihevc, A.; Bosak, P.; Pruner, P.; Vokal, B. (2002). Fossil remains of the cave animal *Marifugia cavatica* in the unroofed cave in the Črnotiče quarry, W Slovenia. *Geologija*, 45(2): 471-474.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G., & Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS biology*, 9(8).
- Pires, A. M. S. (1987). *Potiicoara brasiliensis*: a new genus and species of Spelaeogriphacea (Crustacea: Peracarida) from Brazil with a phylogenetic analysis of the Peracarida. *Journal of natural history*, 21(1): 225-238.
- Prevorčnik, S.; Ferreira, R. L.; Sket, B. (2012). Brasileirinidae, a new isopod family (Crustacea: Isopoda) from the cave in Bahia (Brazil) with a discussion on its taxonomic position. *Zootaxa* (Auckland. Print), 3452: 47-65.
- Rabelo, LM (2016). Ecologia e conservação de cavernas no eixo Centro-norte de Minas Gerais. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil
- Rabinowitz, D. Seven forms of rarity. In: SYNGE, H. (Ed.) *The biological aspects of rare plant conservation*. Chichester: John Wiley & Sons, 1981, pp. 205-217.
- Riddle MR, et al. (2018). Insulin resistance in cavefish as an adaptation to a nutrient-limited environment. *Nature* 555: 647-651.
- Rodrigues, S., Bueno, A., & Ferreira, R. (2012). The first hypothelminorheic Crustacea (Amphipoda, Dogielinotidae, Hyalella) from South America. *ZooKeys*, 236, 65.
- Schwartz, M. W. et al. (2000). Linking biodiversity to ecosystem function: Implications for conservation ecology. *Oecologia*, 122: 297-305.
- Simões, MH, Souza-Silva, M., Ferreira, RL (2015). Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterranean Biology*, 16, 103.
- Soares D, Niemiller ML. (2013). Sensory adaptations of fishes to subterranean environments. *BioScience* 63: 274-283.
- Souza, MFR (2012). Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, Minas Gerais: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2011). Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation*, 8(20):1713-1729.
- Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2015.) Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. *Environmental Management* 55:279-295.

- Yoshizawa K, Ferreira RL, Kamimura Y, Lienhard C. (2014). Female penis, male vagina, and their correlated evolution in a cave insect. *Current Biology* 24: 1–5.
- Yoshizawa, K., Kamimura, Y., Lienhard, C., Ferreira, R. L., and Blanke, A. (2018a). A biological switching valve evolved in the female of a sexrole reversed cave insect to receive multiple seminal packages. *eLife* 7: e39563.
- Yoshizawa M, Settle A, Hermosura M, Tuttle L, Centraró N, Passow CN, McGaugh SE. (2018b). The evolution of a series of behavioral traits is associated with autism-risk genes in cavefish. *BMC Evolutionary Biology* 18: 89.
- Zagmajster M, Malard F, Eme D, Culver DC. (2018). Subterranean biodiversity patterns from global to regional scales. *Cave Ecology*. Springer.
- Zampaulo RA (2010). Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. 190 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Anexo I. Tipos de raridade propostos por Rabinowitz (1981). *Retirado de Ferreira, R. L (2010).

		DISTRIBUIÇÃO			
		AMPLA		RESTRITA	
DENSIDADE POPULACIONAL		Grande	Pequena	Grande	Pequena
	Generalista	A (4)	C (3)	E (3)	G (2)
HÁBITAT					
	Especialista	B (3)	D (2)	F (2)	H (1)

Anexo II. Número de espécies troglóbias descritas no Brasil ao longo (intervalos de 5 anos) do tempo. *A última barra incluiu as descrições dos anos de 2021 e 2022.



Anexo III. Metodologia utilizada para as estimativas do número potencial de espécies troglóbias no Brasil

O número potencial de espécies troglóbias existentes no território nacional foi estimado da seguinte forma: inicialmente, 14 áreas com diferentes dimensões geográficas foram examinadas (5 delas contendo cavernas carbonáticas, 6 contendo cavernas ferríferas e 3 contendo cavernas siliciclásticas) (Tabela 1). Todas estas áreas representam regiões onde inventários bioespeleológicos sistematizados foram realizados. Os dados foram retirados de trabalhos científicos, dissertações ou teses e de relatórios de licenciamento ambiental (Zampaulo, 2010; Souza-Silva et al. 2011; Bento, 2011; Souza, 2012, Souza-Silva et al. 2015; Rabelo, 2016, Iniesta, 2016; Jaffé et al. 2016). Para cada uma destas áreas, quatro informações básicas foram levantadas: 1) número total de cavernas conhecidas para a região; 2) número de cavernas inventariadas na região; 3) número de cavernas, dentre as inventariadas, contendo espécies troglóbias e 4) número total de espécies troglóbias encontradas na área. Com base nestas informações, realizou-se o seguinte conjunto de procedimentos: inicialmente, o número de cavernas contendo espécies troglóbias foi comparado ao número total de cavernas inventariadas em cada região, no intuito de se obter a porcentagem de cavernas contendo troglóbios em cada área. Posteriormente, projetou-se, com base nesta porcentagem, o número total de cavernas que potencialmente poderiam conter espécies troglóbias em cada área (considerando o número total de cavernas da área e a porcentagem referente às cavernas potencialmente detentoras de troglóbios). Com base neste número projetado de cavernas, foi realizado o terceiro passo, que consistiu em estimar a quantidade potencial de espécies troglóbias em cada área, que desta vez considerou o número real de espécies encontradas nas cavernas em relação ao número potencial de cavernas que poderiam conter espécies troglóbias. Tais procedimentos permitiram estimar o número potencial de espécies troglóbias em cada uma destas áreas. Por fim, o número potencial de espécies troglóbias foi dividido pelo número total de cavernas conhecidas para

cada área, no intuito de se obter um número médio de espécies troglóbias por caverna em cada região.

Para cada tipo de rocha, foi obtida a média dos valores médios de número de troglóbios por caverna, valores estes que foram posteriormente utilizados na projeção total para o país. No entanto, muito embora os inventários em rochas ferríferas e siliciclásticas tenham sido realizados de forma mais “aleatória”, sem escolha prévia de cavidades, percebeu-se que, para as cavernas inseridas em rochas carbonáticas, a maioria dos dados proveio de inventários “direcionados”, onde cavernas específicas foram escolhidas para as amostragens (em geral, cavernas de grandes dimensões ou com a presença de corpos d’água, o que sabidamente intensificam as possibilidades da existência de espécies troglóbias - ver discussão à frente). Diante disso, optou-se por desconsiderar, para rochas carbonáticas, boa parte das áreas previamente escolhidas, que de fato “inflariam” o modelo adicionando um número irreal de espécies troglóbias às cavernas como um todo. Optou-se pela manutenção da análise considerando somente os dados de cavernas provenientes da região espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis, cujos dados provieram tanto de relatórios de licenciamento quanto de pesquisas científicas, o que removeu dados tendenciados (referentes exclusivamente a cavernas de maiores dimensões, por exemplo).

Por fim, as projeções do número potencial de espécies troglóbias para cada tipo de rocha foi realizada considerando o número de cavernas atualmente registradas (para cada tipo de rocha) no CANIE. Para tal, um último ajuste foi realizado: novamente considerando os dados empíricos das 14 áreas, calculou-se a porcentagem de cavernas, em cada área, nas quais não foram encontradas espécies troglóbias. Com base nesta porcentagem, calculou-se a porcentagem média por grupo de rocha. Por fim, o número de cavernas potencialmente “desprovidas” de espécies troglóbias foi subtraído do número total de cavernas (CANIE) para cada tipo de rocha. Os dados da análise são mostrados na tabela 1.

Anexo III. Metodologia utilizada para as estimativas do número potencial de espécies troglóbias no Brasil

Tabela 1. Dados referentes às cavernas de diferentes regiões brasileiras, utilizados para os cálculos de projeções do número potencial de espécies troglóbias existentes em cavernas carbonáticas, ferríferas e siliciclásticas no Brasil (vide explicações no texto).

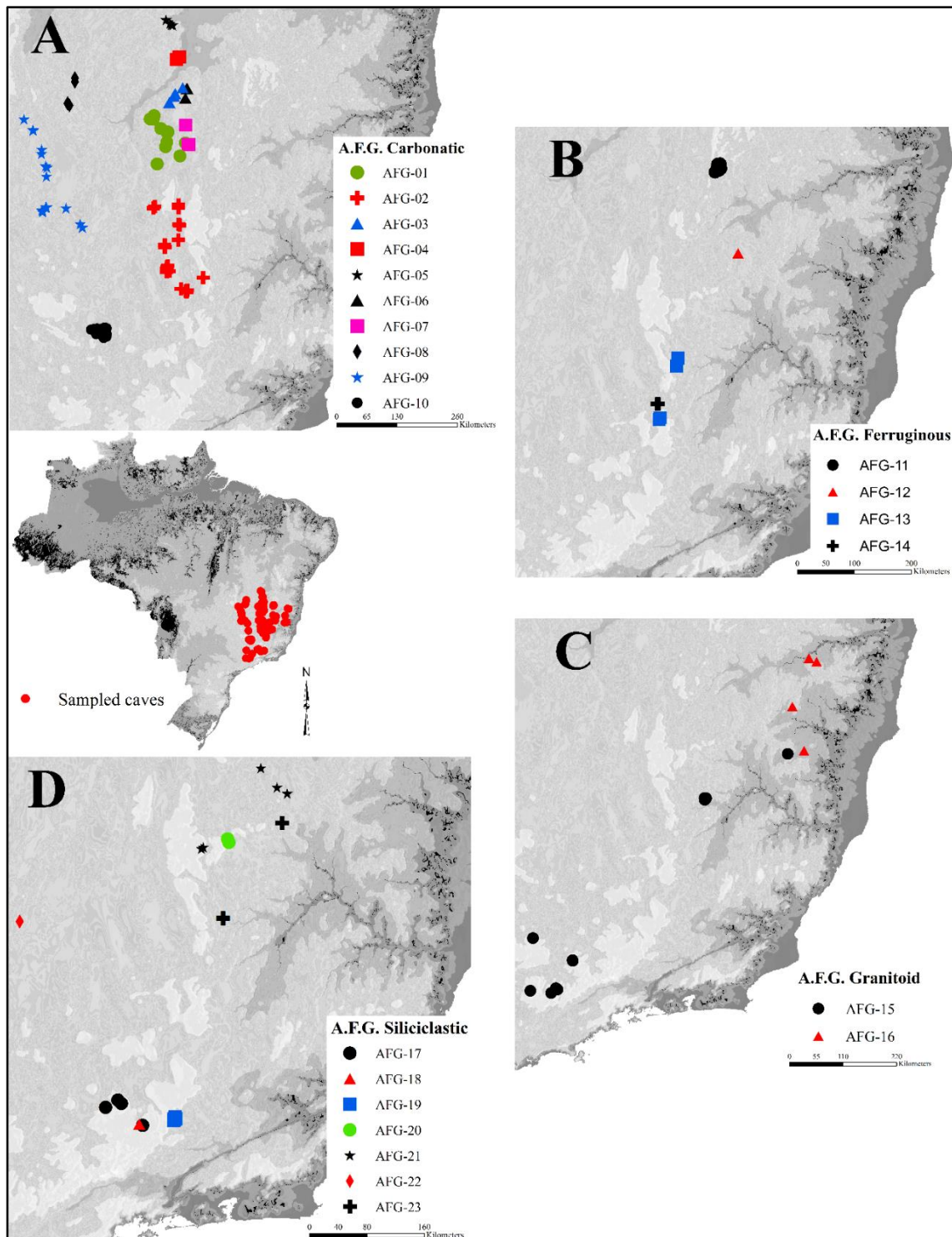
	CARBONÁTICAS					FERRÍFERAS					SILICICLÁSTICAS				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Total de cavernas por região	2418	690	57	486	64	116	136	69	173	137	102	40	30	17	
Cavernas amostradas	301	51	15	37	9	116	136	69	173	56	50	20	11	4	
Cavernas com troglóbias	102	41	13	27	8	69	101	54	85	28	28	5	1	2	
Total de espécies troglóbias	75	94	40	54	16	17	42	9	28	13	8	6	1	2	
% de cavernas sem troglóbios	66,1	19,6	13,3	27	11,1							75	90,91	50	
Média % cav sem troglóbios		27,43% (2.987)					38,8% (1.076)					72% (2.531)			
Total troglóbios estimado	602	1272	152	709	114	17	42	9	28	32	16	12	3	8,5	
Troglos/caverna	0,25	1,8	2,7	1,5	1,8	0,15	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,5	
Média		(1,6) 0,25					0,19					0,3			
Total cavernas Cadastradas		10.889					2.772					3.515			
% total cadastradas com troglóbios		7.902					1.696					984			
Total de espécies troglóbias (projeção)		(12.643) 2.722					322					295			
Total projetado		3.339													

* Legenda das áreas analisadas: 1. Arcos-Pains-Doresópolis (MG); 2. Região Centro-Norte de Minas Gerais (MG); 3. Cordisburgo (MG); 4. Felipe Guerra e Gov. Dix-Sept Rosado (RN); 5. Campo Formoso (BA); 6. Serra Leste I (PA); 7. Serra Leste II e III (PA); 8. Serra do Tarzan (PA); 9. S11D (PA); 10. Serra Azul (MG); 11. Serra da Piedade (MG); 12. Ibitipoca (MG); 13. Carrancas-Luminárias (MG); 14. Altinópolis (SP).

**Valores em vermelho foram considerados nos cálculos (vide explicações no texto)



Anexo IV. Regiões de “identidade faunística” em cavernas do estado de Minas Gerais (Rabelo & Ferreira, in prep.). A) Regiões em rochas carbonáticas; B) Regiões em rochas ferríferas; C) Regiões em rochas granitoides e D) Regiões em rochas siliciclásticas.





NOTA TÉCNICA DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA A PESQUISA DE QUIRÓPTEROS (SBEQ)

Dr. Enrico Bernard

Professor Associado ao Departamento de Zoologia da Universidade Federal de Pernambuco
Presidente da Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros - SBEQ

Com relação ao Decreto Presidencial 10.935 de 12 de janeiro de 2022, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, a Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros – SBEQ vem por meio desta nota técnica apresentar seu parecer sobre pontos incorretos do decreto e que trarão prejuízos irreparáveis para dezenas de espécies de morcegos e as cavidades por elas utilizadas como abrigos no Brasil, aumentando o risco de extinção de algumas destas espécies no território nacional.

O Decreto estabelece em seu § 4º item VII, que deve ser assignada de máxima relevância aquela cavidade “considerada abrigo essencial para manutenção permanente de congregação excepcional de morcegos, com, no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos, e que tenha a estrutura trófica e climática de todo o seu ecossistema modificada e condicionada à presença dessa congregação”.

A SBEQ questiona a definição adotada de “congregação excepcional de morcegos”, bem como o critério estabelecido que esta congregação deve conter “no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos”. **No entendimento da SBEQ não existe suporte científico para esta redação, e ela limita consideravelmente as possibilidades de classificação de uma cavidade como de máxima relevância baseada na excepcionalidade de sua população de morcegos.**

A classificação de uma população de morcegos como excepcional pode variar entre espécies, local considerado e a litologia na qual uma cavidade está inserida¹. O Decreto erra ao adotar de forma genérica e indiscriminada para todas as cavidades e espécies de morcegos um “valor de corte” acima do qual uma população passe a ser considerada excepcional. É fundamental que esta excepcionalidade deva ser tratada de maneira **espécie-específica** e deva considerar o local onde esta cavidade e população estão inseridas, bem como a litologia da cavidade.

O Brasil abriga uma fauna de 181 espécies de morcegos², das quais pelo menos 72 já foram registradas abrigando-se em cavernas. Portanto, é incorreto acreditar que todas estas espécies se comportem de maneira igual em relação à formação de colônias. Uma abordagem espécie-específica faz-se necessária em função das diferenças inerentes a cada espécie e seus requerimentos fisiológicos quando da escolha de seus abrigos. **Tratar todas as espécies de maneira isonômica em relação à excepcionalidade de suas populações é um erro grosseiro sob o ponto de vista biológico e de gestão da biodiversidade.**

O Decreto erra também ao estabelecer um valor absolutamente arbitrário e subjetivo de “no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos” para classificar uma população como excepcional. A SBEQ questiona o embasamento científico para esta redação: Qual a justificativa para a adoção deste valor? Qual o suporte científico para estabelecer que uma população excepcional deve conter “no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos”?

¹ Barros JS et al. 2020. Análise de relevância de cavernas: uma revisão da IN 02/2017 sob a perspectiva dos morcegos. BOLETIM DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MASTOZOLOGIA 89: 126-134.

² Garbino GST et al. 2020. Updated checklist of Brazilian bats: versão 2020. Comitê da Lista de Morcegos do Brasil—CLMB. Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (Sbeq). <https://www.sbeq.net/lista-de-especies>



Há cavidades conhecidas no semiárido brasileiro e Amazônia que abrigam populações superiores a 100.000 morcegos de duas espécies do gênero *Pteronotus*³. Não há dúvidas no meio científico que estas populações são absolutamente excepcionais. Porém, estudos no Rio Grande do Norte já apontaram uma cavidade com mais de 8.000 *Phyllostomus discolor*⁴, um valor muito inferior às concentrações de *Pteronotus*, mas não menos excepcional considerando que a literatura internacional relata abrigos com no máximo 400 indivíduos⁵. Portanto, pela redação do Decreto 10.935, a caverna contendo a maior população conhecida no mundo para a espécie *Phyllostomus discolor*, com cerca de 20 vezes mais indivíduos do que o relatado em outros locais do planeta, **não seria considerada excepcional**, pois não conteria “no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos”. Esta constatação aponta pela total inconsistência e falta de embasamento científico do critério adotado no Decreto 10.935.

O caráter espécie-específico da excepcionalidade das populações também fica evidente quando outras espécies de morcegos cavernícolas são consideradas. Para *Natalus macrourus*, por exemplo, a compilação de dados disponíveis para um total de 700 cavidades estudadas ao longo da distribuição da espécie no Brasil, indica ocorrência em apenas 33 destas cavidades, com média de 12,7 indivíduos por cavidade⁶. Para *Furipterus horrens*, dados apontam ocorrência em apenas 32 de um total de 212 cavidades estudadas, com média de 56 indivíduos por cavidade⁶. E para *Lonchorhina aurita*, dados de ocorrência em 99 cavidades apontam uma média de 31 indivíduos por cavidade⁶. Portanto, uma cavidade com cerca de 40 indivíduos de *Natalus macrourus*, ou 170 *Furipterus horrens*, ou 100 *Lonchorhina aurita* – valores de cerca de três vezes a média nacional observada, mas muito inferiores “a no mínimo, dezenas de milhares de indivíduos” – tem de fato populações excepcionais. Mas, novamente, exclusivamente pelo critério VII do § 4º do Decreto 10.935, nenhuma destas cavidades seria considerada excepcional, pois os valores estão muito abaixo do apontado pela redação adotada. Situação similar ocorreria com dezenas de outras espécies que se abrigam em cavidades no país, para as quais populações de centenas ou de um milhão de indivíduos são de fato excepcionais. Ao ignorar estas características, na prática o Decreto 10.935 expõe tais cavernas e suas populações excepcionais de morcegos ao risco de destruição, indo no sentido oposto ao identificado como prioritário para o momento pela comunidade científica internacional⁷.

A destruição e degradação das cavidades naturais e seu entorno por atividades de mineração representam as principais ameaças para a conservação de espécies de morcegos no Brasil⁸. **Não por acaso, cinco das sete espécies de morcegos oficialmente reconhecidas como ameaçadas de extinção no Brasil são espécies que dependem de cavidades naturais para a sobrevivência**⁹. As baixas taxas de ocupação de cavidades e as baixas médias de indivíduos por cavidade observadas para algumas espécies de morcegos cavernícolas no Brasil reforçam o caráter de difícil substituição destes abrigos para estas espécies. Por dependerem exclusivamente de cavidades para a sua sobrevivência, uma espécie de morcego cavernícola pode ser fortemente afetada pela perda de uma ou de um conjunto de cavernas, mesmo que a paisagem ao redor destas cavernas tenha sido relativamente pouco afetada.

A premissa de que, pela capacidade de voo, os morcegos conseguirão encontrar novos abrigos em outras cavidades na mesma região daquelas perdidas não se sustenta. Cavernas são considerados ecossistemas singulares com baixa equivalência, possuindo condições únicas, resultado de combinação características físicas e biológicas. A preferência dos morcegos por determinadas cavidades já é um claro indicativo de que eles

³ Otálora-Ardila A et al. 2019. Thermally-assisted monitoring of bat abundance in an exceptional cave in Brazil's Caatinga drylands. ACTA CHIROPTEROLOGICA 21: 411-423.

⁴ Vargas-Mena et al. 2018. Diversity of cave bats in the Brazilian tropical dry forest of Rio Grande do Norte State. Mastozoologia Neotropical 25(1): 199-212.

⁵ Kwiecinski GG. 2006. *Phyllostomus discolor*. Mammalian Species 801:1-11.

⁶ Fichas de avaliação das espécies no Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE. <https://salve.icmbio.gov.br/salve/>

⁷ Mammola S et al. 2019. Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. BioScience 69: 641-650. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz064>.

⁸ Bernard E et al. 2012. Uma análise de horizontes sobre a conservação de morcegos no Brasil. Pp. 19–35, In Freitas TRO & Vieira EM (Eds.), Mamíferos do Brasil: genética, sistemática, ecologia e conservação. Vol. II. Sociedade Brasileira de Mastozoologia, Rio de Janeiro, Brasil.

⁹ Portaria MMA 444/2014. https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA_N%C2%BA_444_DE_17_DE_DEZEMBRO_DE_2014.pdf



percebem diferenças mesmo que sutis, e selecionam alguns abrigos em detrimento de outros. Portanto, a escolha de uma cavidade como abrigo não é aleatória, ao contrário, morcegos são bastante seletivos neste processo^{10,11}, de forma que a perda de uma caverna pode não ser fácil e diretamente repostada por outra. Assim, com a perda de cavidades naturais as populações serão afetadas em maior ou menor grau, e de forma mais rápida e imediata (no caso da destruição direta das cavidades) ou gradual (no caso da degradação das condições do habitat). O grau do impacto pode ser bastante elevado se a destruição ou os impactos afetarem especificamente uma ou um conjunto de cavidades essenciais às espécies cavernícolas.

Dados científicos demonstram que algumas espécies e populações de morcegos cavernícolas fazem uso cotidiano de não apenas uma, mas frequentemente de uma série de cavidades como abrigos¹². Mais além, estudos também mostram a existência de segregação sexual entre espécies de morcegos cavernícolas: machos e fêmeas podem ocupar cavernas diferentes durante a maior parte do tempo, e juntam-se apenas no momento da reprodução⁶. Há ainda a identificação de cavernas-maternidade, escolhidas especificamente pelas fêmeas para darem à luz seus filhotes e abrigarem-nos nos primeiros meses de vida⁶. Desta forma, mesmo que poupando outras cavidades, a destruição de uma cavidade que abrigue apenas indivíduos de um sexo, ou de uma cavidade-maternidade, pode colocar toda a população em risco em função da eliminação de indivíduos de um sexo ou dos locais onde os filhotes nascerão. O Decreto ignora por completo estas características.

Em resumo, a SBEQ entende que a redação adotada pelo Decreto 10.935 não tem lastro científico, ignora características inerentes das espécies, ignora informações populacionais disponíveis para o país. Mais além, em nenhum momento a sociedade civil, as sociedades científicas ou universidade e centros de pesquisa foram chamados a discutir ou opinar sobre a correta discussão técnica necessária para o estabelecimento de critérios que, de fato, atribuem relevância máxima à uma cavidade. O Decreto 10.935 tem falhas conceituais nos atributos para a classificação de máxima relevância das cavidades e, se executado como está, resultará em prejuízos irreparáveis para dezenas de espécies de morcegos, incluindo espécies que já se encontram ameaçadas de extinção no Brasil. Portanto, pelo exposto aqui, a SBEQ entende que o Decreto 10.935 deve ser revogado.

¹⁰ Barros JS et al. 2020. Ecological preferences of neotropical cave bats in roost site selection and their implications for conservation. Basic and Applied Ecology 45: 31-41.

¹¹ Vargas-Mena JC et al. 2020. Inside or out? Cave size and landscape effects on cave-roosting bat assemblages in Brazilian Caatinga caves. Journal of Mammalogy 101: 464-475.

¹² Leal ESB & 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. <https://doi.org/10.1080/01650521.2021.1964910>



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip
Fundada em 1º de novembro de 1969
CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



Nota Técnica - Arqueologia

Dr. Daivisson Batista Santos
Diretor, 2º Secretário
Sociedade Brasileira de Espeleologia - SBE

As cavidades naturais subterrâneas representam locais de interações bióticas e abióticas que podem ser considerados únicos pois, tais interações ocorrem apenas nesses ambientes.

Segundo (Maltez & Rocha, 2019) as cavidades naturais subterrâneas podem ser juridicamente consideradas bens ambientais e espaços territoriais especialmente protegidos que foram reconhecidas juridicamente na Constituição Federal de 1988 no rol dos bens da União (art.20.in.X).

Com a publicação do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990 foram estabelecidos critérios que determinaram a classificação de cavidades naturais em graus de relevância que variam entre baixo e máximo. Um dos critérios para o estabelecimento do grau de relevância máximo de uma cavidade natural subterrânea consiste na presença de destacada relevância histórico-cultural ou religiosa, ou seja, naquelas que apresentam elementos testemunhos da interação humana (do passado e do presente) nesses ambientes, tornando-os parte integrante o patrimônio histórico e artístico nacional por seu excepcional valor arqueológico ou etnográfico, bibliográfico ou artístico.

Sítios arqueológicos também se configuram como bens protegidos da União pelo Decreto Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, pela Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961. A presença de sítios arqueológicos incorporados a cavidades naturais subterrâneas se configuram como exemplo dessas interações humanas, que podem ser únicas. Um caso famoso é o da Lapa Vermelha IV, uma gruta no município de Pedro Leopoldo, na Região Metropolitana de Belo Horizonte onde em 1970 foi descoberto o esqueleto de Luzia, o fóssil humano mais antigo encontrado na América do Sul, com cerca de 13.000 anos.

As romarias e procissões são manifestação culturais e religiosas católicas que podem ocorrer em cavidades naturais subterrâneas e também se configuram como exemplo interações humanas nesses ambientes, que podem ser únicas como a Romaria de Bom Jesus da Lapa e da Gruta da Manga-beira, ambas na Bahia.

Com a publicação do Decreto nº 10.935, de 12 de janeiro de 2022, o parágrafo 9º do Artigo 2º diz que:

§ 9º Diante de fatos novos, comprovados por meio de estudos técnico-científicos, o órgão ambiental licenciador poderá rever, conforme proposição do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes ou do empreendedor, a qualquer tempo, a classificação do grau de relevância de cavidade natural subterrânea, independentemente do seu grau de relevância, tanto para nível superior quanto para nível inferior.

O parágrafo 9º do Artigo 2º do Decreto nº 10.935, de 12 de janeiro de 2022 se mostra extremamente contraditório, pois não existe a possibilidade de mudança de classificação de relevância para nível



Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - Oscip
Fundada em 1º de novembro de 1969
CNPJ 52.168.481/0001-42

www.cavernas.org.br sbe@cavernas.org.br



inferior em cavidades naturais que possuam sítios arqueológicos (que por si só apresentam destacada relevância histórico-cultural) ou destacada relevância religiosa.

O Art. 4º também se mostra extremamente contraditório pois cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância máximo que possuem destacada relevância histórico-cultural ou religiosa não poderão ser objeto de impactos negativos irreversíveis pois representam locais de interações humanas únicas que constituem elementos do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, de nossa identidade nacional e não podem ser destruídos em função de interesses imediatistas.

Estima-se que no Brasil existam mais de 3 mil cavidades naturais com a presença de destacada relevância histórico-cultural ou religiosa.

Referências

MALTEZ R. T & ROCHA. C. dos S. C. As cavidades naturais subterrâneas como bens ambientais especialmente protegidos. **Cadernos Jurídicos**. São Paulo, ano 20, nº 48, p.87-111, Março-Abril/2019



Nota Técnica - Paleontologia

Cavernas brasileiras: respostas do passado para ajudar o futuro

Dr. Mário André Trindade Dantas

Sociedade Nordestina de Espeleologia - ESPELEONORDESTE

Sociedade Brasileira de Espeleologia - SBE

Vivemos atualmente em um período geológico denominado como Quaternário. Este período é subdividido em duas épocas o Pleistoceno, que teve início há 2,6 milhões de anos e terminou há 11 mil anos, e o Holoceno, que começou há 11 mil anos e dura até o presente (Walkers & Geissman, 2009). No entanto, alguns autores consideram que o homem, desde a revolução industrial, alterou profundamente as condições naturais do planeta, e que, deste modo, deveríamos criar uma nova época, o Antropoceno (e.g. Crutzen, 2006). Esta nova época é marcada por mudanças aceleradas e profundas no meio ambiente, que tem causado a desregulação de diversos serviços ecológicos, ciclos biogeoquímicos, aumento da temperatura (aquecimento global) e extinção em massa de diversas espécies (sexta extinção).

As cavernas brasileiras de alta e máxima relevância além de sua importância como fornecedor de serviços ecossistêmicos, contem registros fósseis de uma fauna, que viveu durante o final do Pleistoceno, composta por espécies de mamíferos gigantes hoje extintas, e que conviveram em associação com diversas espécies viventes (e.g. Cartelle, 2012); além do registro em espeleotemas de informações sobre o clima do planeta, datadas de, pelo menos, 400 mil anos (e.g. Auller & Smart, 2001).

Os fósseis de mamíferos encontrados nestas cavidades encontram-se muito bem preservados, apresentando esqueletos parciais ou completos de um mesmo indivíduo, e até de populações inteiras (e.g. Cartelle, 1992). Este padrão é difícil de ocorrer em outros tipos de afloramentos fossilíferos que ocorrem no Brasil, que devido a eventos de alta energia em sua formação, acaba contribuído para a quebra e desarticulação dos fósseis, o que impede que os restos ósseos possam ser atribuídos a um mesmo indivíduo (e.g. Araujo Jr et al., 2013).

Hoje em dia, com o uso de diversas técnicas (por exemplo, microdesgaste dentário, cálculo dentário, isótopos estáveis) podemos inferir a dieta destes animais extintos, e sugerir



como eram os ambientes em que eles viviam (e.g. Asevedo et al., 2012; Asevedo, 2015; Dantas et al., 2017, 2020; Omena et al., 2020).

Saber mais sobre estes organismos é importante, pois, eles tinham um grande papel ecológico nos ecossistemas onde viviam, colaborando com a estrutura trófica, dispersão de sementes, reciclagem de nutrientes, dentre outros papéis ecológicos (Doughty et al., 2013, 2016; Smith et al., 2015, 2016; Malhi et al., 2016; Pires et al., 2018). Estas informações nos ajudam a compreender o funcionamento dos ecossistemas atuais, e o que pode vir a acontecer com esses ecossistemas caso as espécies viventes sejam extintas.

Por fim, os registros paleoclimáticos que são encontrados em espeleotemas em cavernas ajudam a entender a variação climática que ocorreu no Brasil há, pelo menos, 400 mil anos. Estes registros paleoclimáticos ainda não foram exaustivamente estudados, mas já se sabe que ele tem forte associação com registros paleoclimáticos encontrados em testemunhos de gelo do ártico, e em cavernas em outras regiões do mundo (por exemplo, China) (e.g. Wang et al., 2004; Cruz et al., 2005; Strikis et al., 2018). Estes estudos ajudam a entender como a Zona de Convergência Intertropical e a monção de verão Sulamericana influenciaram o clima durante o final do Pleistoceno.

Referências

- Araújo-Júnior, H. I., de Oliveira Porpino, K., Ximenes, C. L., & Bergqvist, L. P. (2013). Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: a study case in the Pleistocene of north-eastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 378, 52-74.
- Asevedo, L. Paleoecologia alimentar dos gonfotérios (proboscidea: mammalia) pleistocênicos da América do Sul. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. 2015.
- Asevedo, L., Winck, G.R., Mothé, D., Avilla, L.S., 2012. Ancient diet of the Pleistocene gomphothere *Notiomastodon platensis* (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae) from



lowland mid-latitudes of South America: Stereomicroscopy and tooth calculus analyses combined. *Quaternary International*, doi:10.1016/j.quaint.2011.08.037.

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.

Cartelle, C. (2012). Das grutas à luz: os mamíferos pleistocênicos de Minas Gerais. *Bicho do Mato Editora, Belo Horizonte*.

Crutzen, P. J. (2006). The “anthropocene”. In *Earth system science in the anthropocene* (pp. 13-18). Springer, Berlin, Heidelberg.

Cruz, F. W., Burns, S. J., Karmann, I., Sharp, W. D., Vuille, M., Cardoso, A. O., ... & Viana, O. (2005). Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, 434(7029), 63-66.

Dantas MAT, Cherkinsky A, Lessa CMB, Santos LV, Cozzuol MA, Omena EC, Silva JLL, SIAL AN, Bocherens H. 2020. Isotopic paleoecology ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of a late Pleistocene vertebrate community from the Brazilian Intertropical Region. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 23(2): 138-152. doi:10.4072/rbp.2020.2.05.

Dantas, M.A.T.; Cherkinsky, A.; Bocherens, H.; Drefahl, M.; Bernardes, C.; França, L. de M. 2017. Isotopic paleoecology of the Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region: Feeding ecology ($\delta^{13}\text{C}$), niche breadth and overlap. *Quat Sci Rev* 170, 152-163. doi: 10.1016/j.quascirev.2017.06.030

Doughty, C. E., Roman, J., Faurby, S., Wolf, A., Haque, A., Bakker, E. S., Malhi, Y., Dunning Jr, J.B., Svenning, J. C. 2016. Global nutrient transport in a world of giants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(4), 868-873.

Doughty, C. E., Wolf, A., & Malhi, Y. 2013. The legacy of the Pleistocene megafauna extinctions on nutrient availability in Amazonia. *Nature Geoscience*, 6(9), 761-764.

Mayle, F. E. 2006. The Late Quaternary biogeographical history of South American seasonally dry tropical forests: insights from palaeo-ecological data. In *Neotropical savannas and seasonally dry forests* (pp. 395-416). CRC press.

Omena, E.C.; Silva, J.L.L.; Sial, A.N.; Cherkinsky, A.; Dantas, M.A.T. (in press). Late Pleistocene meso- megaherbivores from Brazilian Intertropical Region: isotopic diet ($\delta^{13}\text{C}$), niche



differentiation, guilds and paleoenvironmental reconstruction ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$). Historical Biology.

- Pires, M. M., Guimarães, P. R., Galetti, M., & Jordano, P. 2018. Pleistocene megafaunal extinctions and the functional loss of long-distance seed-dispersal services. *Ecography*, 41(1), 153-163.
- Smith, F.A., Doughty, C.E., Malhi, Y., Svenning, J.C., Terborgh, J. 2015. Megafauna in the Earth system. *Ecography* 39(2): 99-108.
- Smith, F.A., Tomé, C.P., Elliott Smith, E.A., Lyons, S.K., Newsome, S.D., Stafford, T.W. 2016. Unraveling the consequences of the terminal Pleistocene megafauna extinction on mammal community assembly. *Ecography* 39(2), 223-239.
- Stríkis, N. M., Cruz, F. W., Barreto, E. A., Naughton, F., Vuille, M., Cheng, H., ... & Sales, H. R. (2018). South American monsoon response to iceberg discharge in the North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(15), 3788-3793.
- Walker, J.D. & Geissman, J.W. (compilers). 2009. *Geologic Time Scale*. Geological Society of America, doi: 10.1130/2009.
- Wang, X., Auler, A. S., Edwards, R. L., Cheng, H., Cristalli, P. S., Smart, P. L., ... & Shen, C. C. (2004). Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature*, 432(7018), 740-743.