

MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA FENDA DA FREIRA, PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS (PARANÁ): FERRAMENTA PARA GESTÃO DO USO PÚBLICO DE CAVIDADE NATURAL SUBTERRÂNEA

Henrique Simão Pontes

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE)
henriquegeografo@gmail.com

Laís Luana Massuqueto

Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE)
lais.massuqueto@gmail.com

Nair Fernanda Mochiutti Burigo

Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE)
fernandamochiutti@yahoo.com.br

Gilson Burigo Guimarães

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE)
gilsonburigo@gmail.com

Jasmine Moreira Cardozo

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE)
E-mail: jasminecardozo@gmail.com

Resumo

A utilização pública de unidades de conservação representa um grande desafio à conciliação entre a proteção da natureza e a condução de atividades de pesquisa, educação ambiental ou turística. Situações que envolvem cavidades naturais, ambientes particularmente sensíveis, proporcionam contextos carentes de estudos de detalhe no Brasil. Assim, o presente artigo tem como objetivo apresentar o mapeamento da fragilidade ambiental da Fenda da Freira, cavidade subterrânea situada no Parque Nacional dos Campos Gerais, Ponta Grossa/PR, como instrumento de gestão da visitação do atrativo. O mapeamento tomou como temas as feições geológicas, nível de circulação de energia, substrato e fauna cavernícola. Esta cartografia definiu áreas homólogas na cavidade, com base em cada tema e na morfologia da caverna. Na sequência a fragilidade de cada tema foi valorada e os mapas temáticos foram sobrepostos e integrados em um mapa final de fragilidade ambiental. Os resultados obtidos mostraram que este procedimento possibilita reconhecer áreas da cavidade que apresentam elementos com elevada sensibilidade à visitação, principalmente feições geológicas como os espeleotemas e a fauna de invertebrados. O mapeamento de fragilidades na Fenda da Freira se mostrou um método eficiente para apontar áreas com diferentes graus de restrição ao uso público, com potencial de aplicação em outros ambientes naturais similares.

Palavras-chave: espeleoturismo; gestão em áreas naturais; caverna arenítica; conservação da natureza; Ponta Grossa.

ENVIRONMENTAL FRAGILITIES MAPPING OF THE FENDA DA FREIRA, CAMPOS GERAIS NATIONAL PARK (PARANÁ): MANAGEMENT TOOL FOR THE PUBLIC USE OF CAVES

Abstract

The public use of protected areas is a challenge to the reconciliation between the protection of nature, research, environmental education and tourism activities. Situations involving natural cavities, particularly sensitive environments, provide contexts in need of detailed studies in Brazil. Thus, this article aims to present the mapping of the environmental fragility of Fenda da Freira, an underground cavity located in the Campos Gerais National Park, municipality of Ponta Grossa, state of Paraná, as an instrument for managing the visitation of the attraction. The mapping took as its themes the geological features, level of energy circulation, substrate and cave fauna. This cartography defined homologous areas in the cavity, based on each theme and the morphology of the cave. Subsequently, the fragility of each theme was valued and the thematic maps were overlaid and integrated into a final map of environmental fragility. The results obtained showed that this procedure makes it possible to recognize areas of the cavity that present elements with high sensitivity to visitation, mainly geological features such as speleothems and invertebrate fauna. The mapping of environmental fragility in Fenda da Freira proved to be an efficient method to point out areas with different degrees of restriction to public use, with potential for application in other similar natural environments.

Key words: speleotourism; management of natural areas; sandstone cave; nature conservation; Ponta Grossa municipality.

MAPEO DE LAS FRAGILIDADES AMBIENTALES DE LA FENDA DA FREIRA, PARQUE NACIONAL CAMPOS GERAIS (PARANÁ): HERRAMIENTA PARA EL USO PÚBLICO DE LA CAVIDAD NATURAL SUBTERRÁNEA

Resumen

El uso público de las unidades de conservación representa un gran desafío para la conciliación entre la protección de la naturaleza y la realización de actividades de investigación, educación ambiental o turismo. Las situaciones que involucran cavidades naturales, ambientes particularmente sensibles, proporcionan contextos que necesitan estudios detallados en Brasil. Así, este artículo tiene como objetivo presentar el mapeo de la fragilidad ambiental de Fenda da Freira, una cavidad subterránea ubicada en el Parque Nacional Campos Gerais, Ponta Grossa/PR, como un instrumento para gestionar la visitación del atractivo. El mapeo tenía como temas las características geológicas, el nivel de circulación de energía, el sustrato y la fauna de las cuevas. Esta cartografía definió áreas homólogas en la cavidad, en función de cada tema y la morfología de la cueva. Posteriormente, se valoró la fragilidad de cada tema y los mapas temáticos se superpusieron e integraron en un mapa final de fragilidad ambiental. Los resultados obtenidos mostraron que este procedimiento permite reconocer áreas de la cavidad que presentan elementos con alta sensibilidad a la visita, principalmente características geológicas como espeleotemas y fauna invertebrada. El mapeo de fragilidad en Fenda da Freira demostró ser un método eficiente para señalar áreas con diferentes grados de restricción al uso público, con potencial de aplicación en otros entornos naturales similares.

Palabras-clave: espeleoturismo; manejo de ambientes naturales; cueva en areniscas; conservación de la naturaleza; municipio de Ponta Grossa.

Introdução

A Fenda da Freira é uma das várias cavidades naturais subterrâneas que integram o Parque Nacional dos Campos Gerais, no Paraná. A área constitui uma propriedade particular,

a qual é gerida pela empresa Buraco do Padre – Turismo desde o ano de 2015. Os processos de desapropriação relacionados à implantação desta Unidade de Conservação ainda não se efetivaram.

De acordo com Pontes et al. (2018) a Fenda da Freira apresenta alto potencial para atividades educativas e científicas, principalmente de interesse geológico, pois é um local que facilita a observação do interior do corpo rochoso com setores onde suas características litológicas e estratigráficas estão bem preservadas. Possui um rico conjunto de feições e estruturas geológicas de natureza cárstica, tectônica e espeleológica, como espeleotemas silicosos, espeleogens, depósitos clásticos e fraturas.

A biodiversidade da Fenda da Freira é composta por uma vegetação rupestre que recobre as paredes rochosas da cavidade, por vertebrados ocasionais, como anuros e serpentes, ou moradores do local, como também andorinhões-de-coleira-falha (*Streptoprocne biscutata*) que utilizam a fenda como abrigo e para nidificação. Em termos de diversidade, destacam-se os invertebrados, principalmente artrópodes como aranhas, opiliões e grilos cavernícolas.

Além do valor didático, científico e ecossistêmico (GRAY, 2004; 2005; BRILHA, 2005; CARCAVILLA et al., 2007; HJORT et al., 2015), a beleza da Fenda da Freira impressiona pelo efeito provocado pela entrada de luminosidade em seu interior, que realça a cor verde das paredes rochosas cobertas por um tapete de musgos e líquens. A morfologia abaulada das paredes e a exposição dos estratos da rocha também lhe conferem um visual peculiar (GUPE, 2019).

Esta beleza cênica agrega ao local um acentuado interesse turístico (PONTES, 2010; PONTES et al., 2010). Contudo, a visitação na Fenda da Freira ocorria de forma restrita, devido à falta de divulgação do local e a não demarcação de vias de acesso. Esta realidade começou a mudar no início do ano de 2018, quando foi aberta uma nova trilha, mais acessível, ao setor de escalada conhecido como Favo, e a trilha para a Fenda da Freira, antes imperceptível aos turistas, foi alargada. Placas e adesivos de sinalização, com indicação da localização da fenda também foram colocados ao longo do caminho, facilitando a chegada ao atrativo. Assim, houve um aumento significativo no número de visitantes no local, sem nenhuma forma de controle, resultando em impactos negativos para a cavidade e seus componentes bióticos e abióticos, como: depredação de paredes; destruição da vegetação –

principalmente briófitas e líquens; descarte de resíduos; supressão de espeleotemas; produção de diferentes níveis de ruído; processos de erosão e compactação do solo.

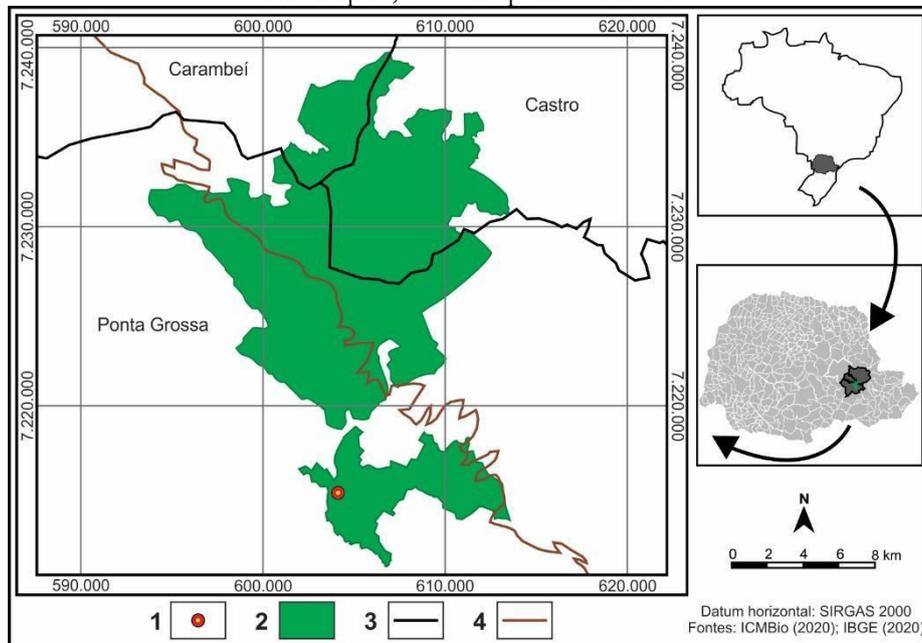
Com base no que aponta Lobo (2006), avalia-se que os segmentos do turismo vinculados à Fenda da Freira incluem o de aventura e o ecoturismo. Embora não se enquadre como um turismo de massa, o qual se caracteriza pelo movimento de um grande número de turistas para destinos populares de férias para fins recreativos (NAUMOV e GREEN, 2016), por se tratar de uma cavidade natural subterrânea, um ambiente confinado e com limitações espaciais, uma quantidade pequena de visitantes já pode ocasionar impactos negativos.

Neste sentido, Pontes et al. (2018) apontaram o potencial de uso turístico do primeiro terço da Fenda da Freira, mas com restrições por conta da fragilidade e vulnerabilidade de elementos da geodiversidade (GRAY, 2004; 2005; BRILHA, 2005) e da biodiversidade da cavidade. Assim, com o objetivo de buscar soluções para compatibilizar a conservação da cavidade subterrânea e de seus componentes abióticos e bióticos com a atividade turística, educacional e científica, foi desenvolvido um Plano de Uso Público (PUP) para o local (GUPE, 2019). Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o mapeamento de fragilidade ambiental como um dos possíveis instrumentos de gestão da visitação na Fenda da Freira, conforme realizado no referido PUP.

Área de estudo

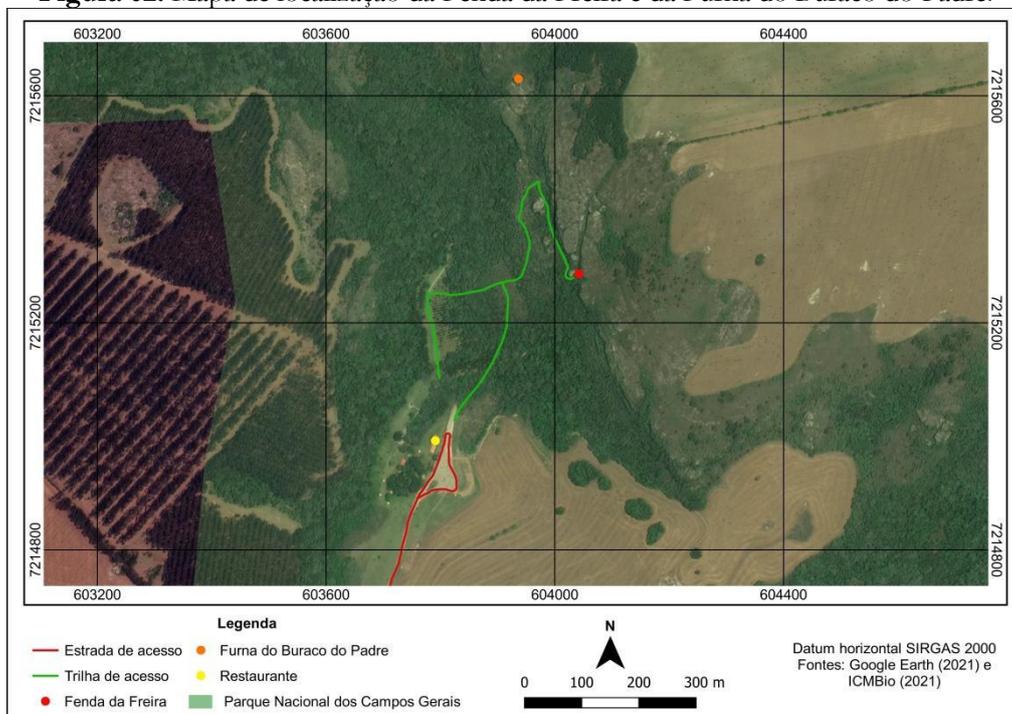
A Fenda da Freira é uma cavidade natural subterrânea situada no polígono sul do Parque Nacional dos Campos Gerais, uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral (BRASIL, 2006) no município de Ponta Grossa, estado do Paraná (Figura 01), a pouco mais de 500 metros a sudeste da fuma do Buraco do Padre, outro sítio espeleológico, este com relevância nacional (MELO et al., 2009) (Figura 2).

Figura 01. Mapa de localização do Parque Nacional dos Campos com indicação da Fenda da Freira. Legenda: 1 - Fenda da Freira; 2 - área do Parque Nacional dos Campos Gerais; 3 - limites municipais; 4 - Escarpa Devoniana.



Fonte: os autores.

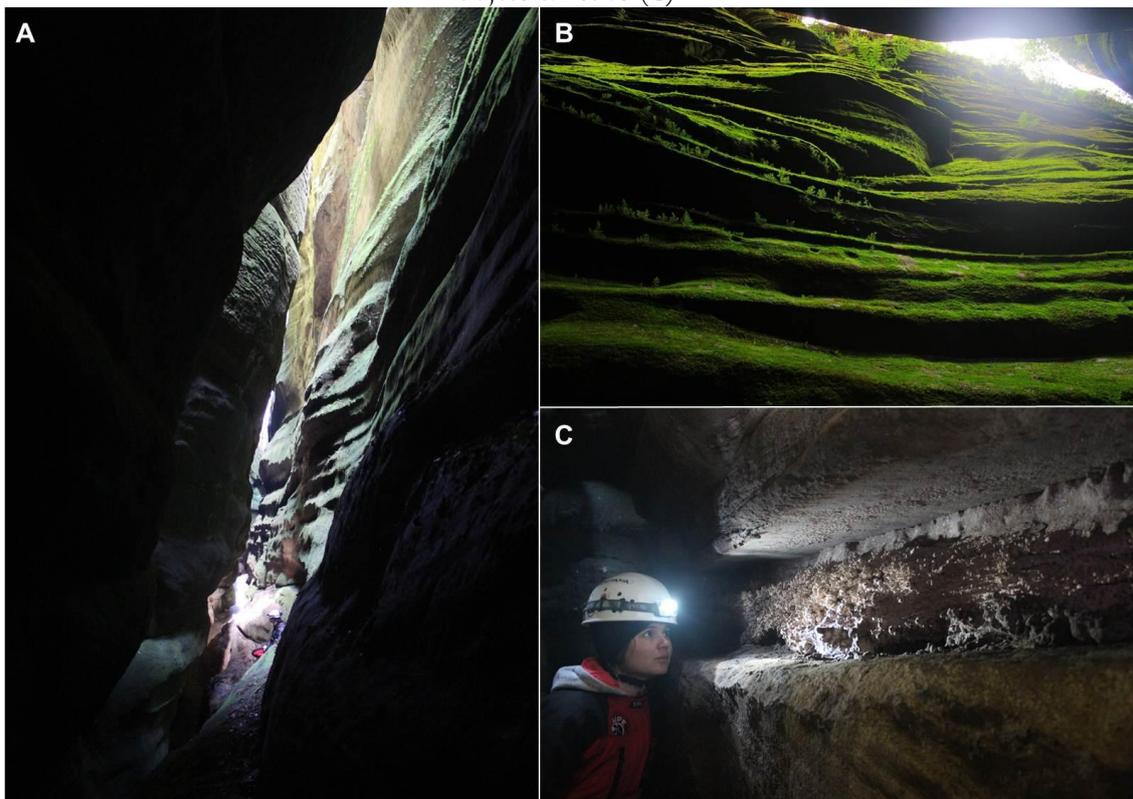
Figura 02. Mapa de localização da Fenda da Freira e da Furna do Buraco do Padre.



Fonte: os autores.

A Fenda da Freira é qualificada como um exemplo clássico de fenda, uma forma de relevo resultante do alargamento de uma fratura na rocha (Figura 03), representativa de um dos vários tipos de cavidades naturais subterrâneas presentes na Formação Furnas (MELO et al. 2011; PONTES, 2019). Com cerca de 300 metros de desenvolvimento linear (154 metros mapeados), a cavidade apresenta padrão de desenvolvimento do tipo linear composto (PONTES, 2014), com um conduto principal único orientado em três direções principais: N20E e N35E, reflexo da reativação de estruturas presentes nas rochas do Embasamento (Lineamento Castro-Piraí do Sul; Zona de Cisalhamento Itapirapuã; GÓIS et al., 1985; CPRM, 1977) e N20W, todas relacionadas à evolução do Arco de Ponta Grossa, uma estrutura tectônica regional relacionada à abertura do Oceano Atlântico Sul (ZALÁN et al., 1990).

Figura 03. Visão geral da parte final do trajeto turístico da Fenda da Freira (A) (pessoa ao fundo como escala); briófitas e musgos nas paredes da cavidade (B) e; conjunto de espeleotemas silicosos (do tipo arborescente, conforme GUPE, 2019; Pontes, 2019) situado a poucos metros fora do trajeto turístico (C).



Fonte: Henrique Simão Pontes.

A partir dos 70 metros após a entrada, o conduto principal, que em geral está limitado por paredes verticalizadas, torna-se abaulado, com aproximadamente 20° em relação à

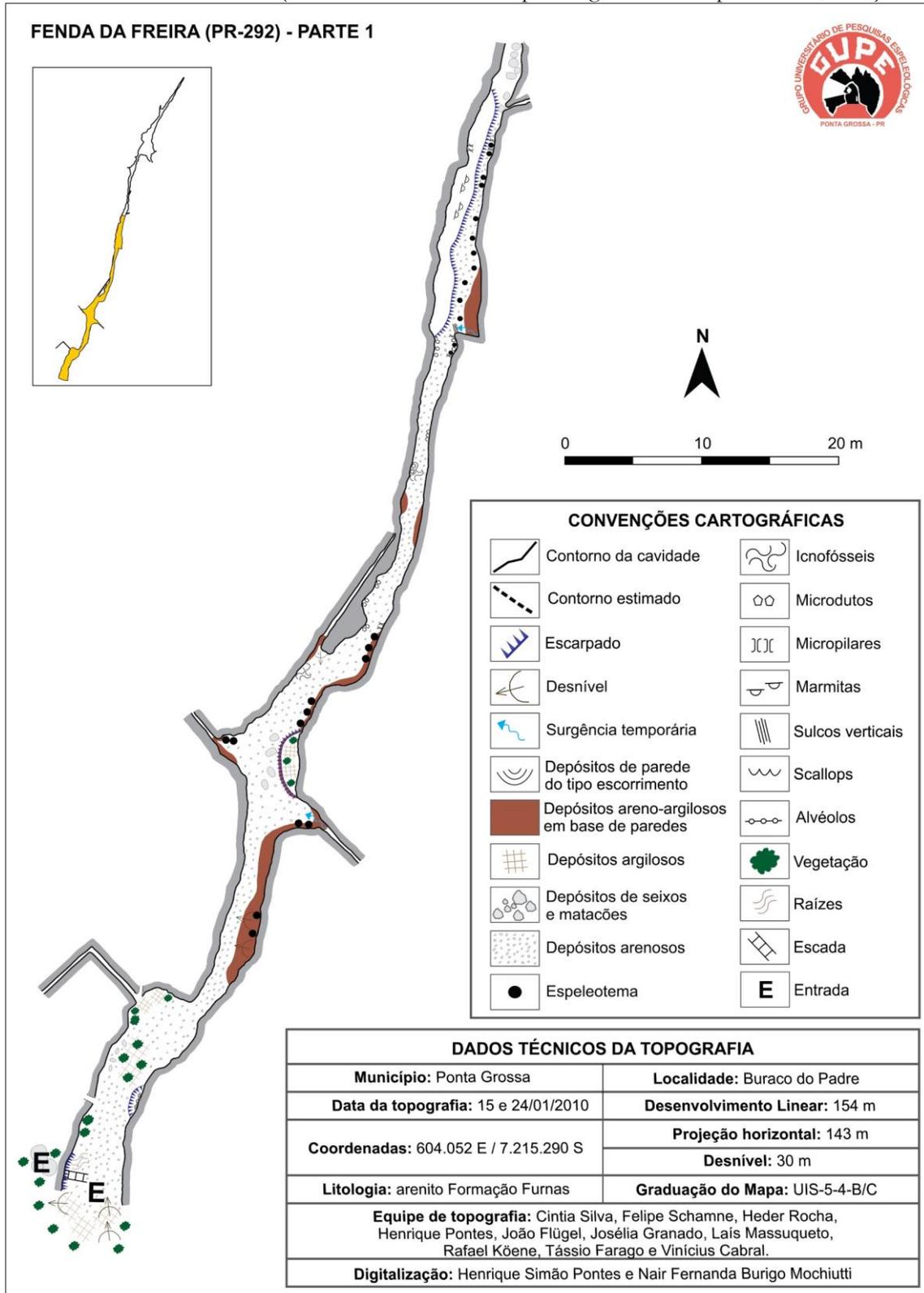
vertical, ora com inclinação para SE, ora para NW, o que inibe consideravelmente uma iluminação mais direta no interior da fenda. Segundo Pontes (2014) tal característica colaborou para o desabamento de blocos no interior da cavidade.

Há pelo menos doze condutos transversais com conexão a partir do conduto principal, a maioria fendas relativamente pequenas. Apenas cinco destes condutos permitem algum avanço em seu interior, porém são apertados e curtos ou então com piso de inclinação acentuada. A disposição dos condutos pode ser observada no mapa espeleológico da Fenda da Freira, apresentado nas figuras 04 e 05.

Em termos geológico-geomorfológicos esta cavidade natural se localiza na transição entre o Primeiro Planalto Paranaense (onde o substrato são rochas do Embasamento) e o Segundo Planalto Paranaense (rochas da Bacia do Paraná), conforme classificação de Maack (1981). A cavidade se encontra a pouco mais de 6 km, em linha reta, da quebra de relevo que define o início da zona de reverso da Escarpa Devoniana (SOUZA e SOUZA, 2004), um setor do Segundo Planalto (ou Planalto dos Campos Gerais) onde os processos morfogenéticos são mais intensos na dinâmica e evolução do relevo.

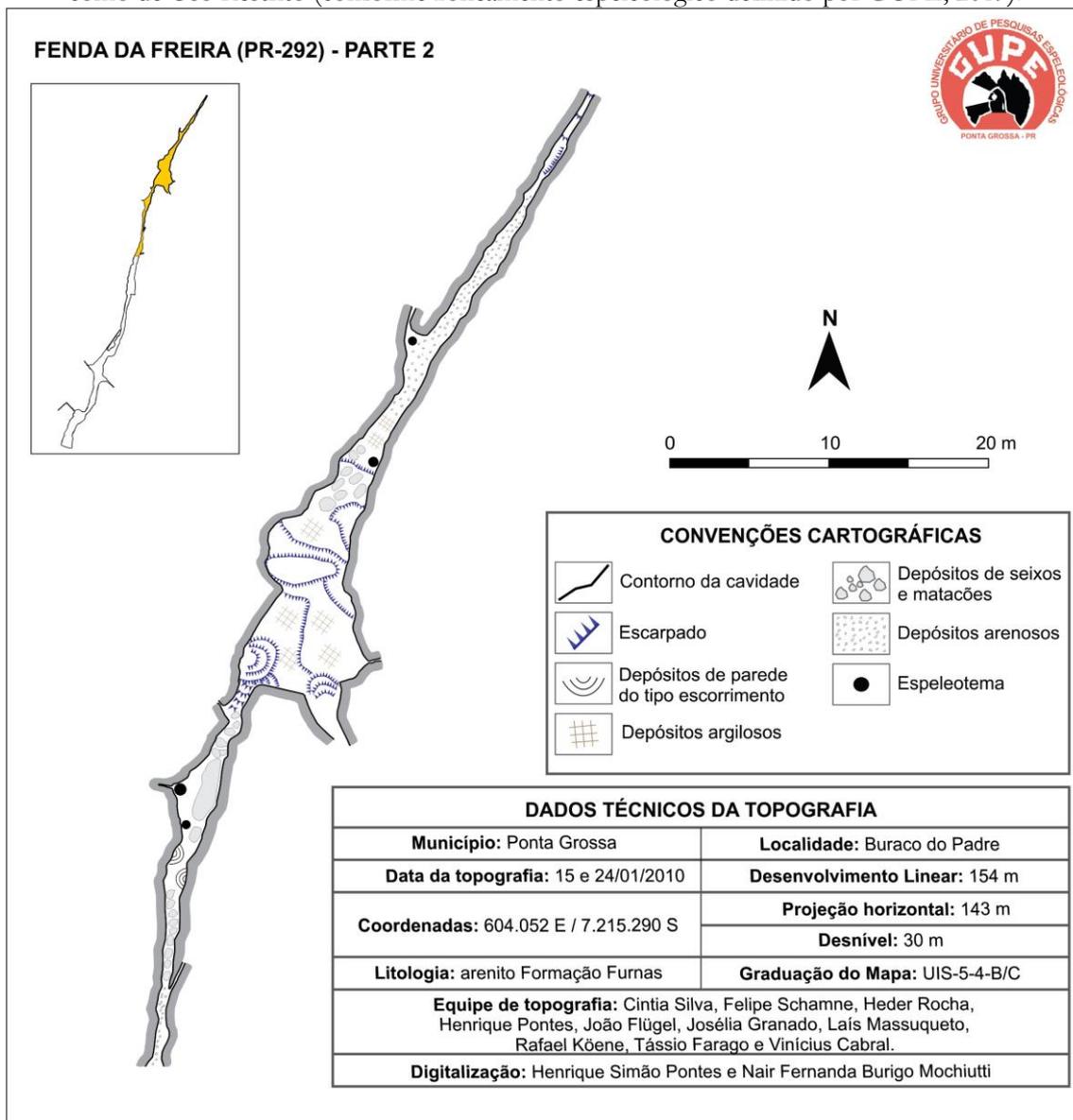
As rochas que hospedam a Fenda da Freira pertencem à Formação Furnas (Siluriano a Devoniano, aproximadamente 420 a 400 milhões de anos), uma unidade geológica constituída predominantemente de arenitos quartzosos (ASSINE, 1999). Em síntese, como apontam Guimarães et al. (2007) e Melo et al. (2010), pode-se dizer que predominam arenitos de granulação média a grossa com cimento caulínico, esbranquiçados, com frequência portadores de estratificação cruzada. Também ocorrem camadas de granulação fina (de areia muito fina a silte e argila), muitas vezes com traços fósseis de invertebrados nas camadas arenosas adjacentes (icnofósseis), e estratos com cascalho, principalmente em sua unidade basal, com camadas métricas de natureza conglomerática.

Figura 04. Planta baixa (mapa espeleológico) da Fenda da Freira referente ao trecho classificado como de Uso Extensivo (conforme zoneamento espeleológico definido por GUPE, 2019).



Fonte: os autores, adaptado de GUPE (2010).

Figura 05. Planta baixa (mapa espeleológico) da Fenda da Freira referente ao trecho classificado como de Uso Restrito (conforme zoneamento espeleológico definido por GUPE, 2019).



Fonte: os autores, adaptado de GUPE (2010).

Métodos

Este estudo foi desenvolvido apenas na zona de uso extensivo da Fenda da Freira, compreendendo a área referente a dois terços da extensão mapeada da cavidade, conforme definido por GUPE (2019), caracterizada como o trajeto turístico da cavidade subterrânea, com 105,6 metros de desenvolvimento linear. O trabalho envolveu uma etapa prévia em gabinete, para planejamento e definição dos temas a serem avaliados na cavidade subterrânea,

e etapas de campo realizadas de fevereiro a maio de 2019 para levantamento de dados e, por último, uma fase pós-campo, também em gabinete, para tratamento, análise e interpretação das informações obtidas.

Quando características físicas e biológicas de um determinado ambiente, tais como natureza do substrato e tamanho e diversidade da população de invertebrados, estão suscetíveis a mudanças causadas pela visitação turística, tem-se o que é entendido como fragilidade ambiental. De acordo com Lobo (2011) a regulamentação do uso público, com o estabelecimento de limites de tempo, espaço e comportamento, é o procedimento mais utilizado para reduzir a magnitude da perturbação humana direta sobre um determinado ambiente. Trajano (2010) afirma que estas magnitudes seriam determinadas em função das variações mais aceitáveis nos parâmetros-chave do ambiente afetado, sabidamente relacionados ao nível de pressão antrópica, sendo reconhecidas como fragilidade ambiental.

O mapeamento da fragilidade ambiental foi elaborado a partir das propostas de Lobo et al. (2013) e Massuqueto (2013), que trouxeram uma nova perspectiva para a avaliação da visitação em cavernas em relação ao método de Cifuentes (1992). Este método foi uma das etapas adotadas pelos referidos autores no processo de definição de uma capacidade de carga provisória para cavernas turísticas. Para o estudo na Fenda da Freira a definição e o registro da distribuição de fragilidades no interior da cavidade foram utilizados para refinar os dados da capacidade de carga turística, estimada por meio do método de Cifuentes (1992), e para ajudar na definição dos procedimentos, equipamentos e normas para a visitação do atrativo, conforme GUPE (2019).

O primeiro passo consistiu na definição de temas considerados cruciais para a avaliação e compreensão da fragilidade da Fenda da Freira em relação à atividade de visitação. Esta fase envolveu reuniões presenciais com membros do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), composto por especialistas de diferentes ramos da espeleologia (geografia, geologia, biologia e turismo), a fim de proporcionar uma discussão e definição interdisciplinares das temáticas a serem avaliadas no mapeamento de fragilidade. Assim, foram indicados quatro temas que, por sua vez, foram desdobrados em dez critérios (ou subtemas) de análise, conforme mostra o Quadro 01.

Quadro 01. Temas e critérios usados na análise da fragilidade da Fenda da Freira em relação à visitação turística.

Tema avaliado	CrITÉRIOS de análise
Feições geológicas (visíveis no teto, nas paredes e suas reentrâncias)	Espeleotemas Espeleogens Estruturas tectônicas e sedimentares (incluindo icnofósseis)
Nível de circulação de energia	Dimensões das galerias Circulação de ar Dinâmica hídrica
Substrato	Erodibilidade dos depósitos clásticos Erodibilidade da rocha Compactação do solo
Fauna cavernícola	Ocorrência (registro visual, sem coleta)

Fonte: os autores.

Na sequência foi realizada a delimitação de áreas homólogas dentro da cavidade, estabelecidas de acordo com a distribuição do tema avaliado e da morfologia da caverna. Neste momento, o mapeamento espeleológico da Fenda da Freira (sua planta baixa) foi utilizado como material de base, além de uma trena a laser Leica Disto D810 Touch e um miniprisma Leica modelo GMP111, equipamentos utilizados para as medições do percurso de visitação e de critérios de análise de cada tema de estudo, para a construção dos mapas de fragilidades.

Para a análise da fragilidade de cada um dos temas e critérios, foram adotados os procedimentos descritos a seguir.

Procedimentos para a análise da fragilidade relacionada às feições geológicas

O tema feições geológicas permitiu a delimitação de cinco áreas relativamente homogêneas. Para cada área foram feitas as medidas da extensão de ocorrência de espeleotemas, espeleogens e estruturas geológicas (elementos dispostos essencialmente nas paredes da cavidade e suas reentrâncias), seguidas dos cálculos da proporção ocupada por cada um destes elementos na área em questão. Neste momento se optou por uma análise exclusivamente relacionada à presença (ou não) dos elementos em um dado setor, deixando-se de considerar diferenças inerentes à robustez das feições (por exemplo, um eventual espeleotema de cristais fibrosos de gipsita seria mais frágil que espeleotemas arborescentes de opala-A). Esta abordagem poderá ser adotada em futuras atualizações deste estudo.

Procedimentos para a análise da fragilidade relacionada ao nível de circulação de energia

Este foi o único tema que envolveu a atribuição de valores a partir de discussão entre os integrantes da equipe de campo, ou seja, privilegiando aspectos qualitativos, sem envolver medições dos critérios. As premissas, observações e constatações *in loco*, relevantes para o consenso sobre os valores atribuídos, foram: galerias amplas e retilíneas favorecem a circulação de energia em comparação com galerias estreitas e irregulares; a sensação térmica causada pela circulação do ar e o efeito do vento em elementos da vegetação dentro da cavidade; o comportamento e intensidade da circulação da água em períodos secos e chuvosos. Considerando os critérios analisados, as observações descritas e a morfologia da cavidade, foram definidas três áreas para este tema.

Procedimentos para a análise da fragilidade relacionada ao substrato

O tema substrato se refere aos diferentes tipos de superfícies que podem servir como suporte para circulação de pessoas durante a visita. No caso da Fenda da Freira foram consideradas como critérios para análise deste tema as superfícies com depósitos clásticos, rocha e solo exposto e parcialmente exposto (onde a camada de areia incoesa e não compactada que o recobre é pouco espessa).

A partir da distribuição desses elementos na cavidade e considerando também a morfologia da mesma, foram delimitadas quatro áreas homogêneas. Para cada área foram feitas as medidas da extensão de ocorrência dos critérios/subtemas citados, seguidas dos cálculos da proporção ocupada por cada um na área em questão.

Procedimentos para a análise da fragilidade relacionada à fauna cavernícola

Para o levantamento da biota subterrânea da Fenda da Freira se optou por trabalhar com uma abordagem limitada apenas à observação da ocorrência de invertebrados ao longo da cavidade. Um detalhamento sobre a flora, micologia e vertebrados, além de um tratamento diferenciado de distintas entidades taxonômicas de invertebrados, permanece como sugestão para futuros aprimoramentos deste estudo.

Foram definidas cinco áreas para esse tema, principalmente em função da morfologia da cavidade. A área 1, que inclui os primeiros 15,71 m a partir da entrada, foi delimitada, mas não avaliada, já que apresenta condições muito parecidas com as da porção externa (mais aberta e iluminada, com paredes mais baixas e vegetação abundante). Para as demais áreas foram feitas as medidas da extensão de ocorrência dos invertebrados, considerando setores

com maior concentração de indivíduos. Embora os animais observados não sejam estáticos, pois circulam pela cavidade, é possível definir setores preferenciais para permanência, abrigo e reprodução dos mesmos. Esta afirmação sobre a distribuição dos invertebrados baseia-se em observações mensais, em diferentes condições de tempo, entre fevereiro e maio de 2019. Na sequência foram feitos os cálculos da proporção ocupada pelos invertebrados na área em questão.

A natureza expedita e emergencial do levantamento traz de *per se* algumas limitações ecológicas relacionadas à adequada percepção da distribuição e densidade populacional dos organismos, aspectos que estudos de acompanhamento sistemático poderão sanar.

Enquadramento dos níveis de fragilidade ambiental

No passo seguinte, já em campo, um grupo interdisciplinar de membros do GUPE realizou a discussão, reconhecimento e enquadramento de acordo com os níveis de fragilidade propostos por Lobo et al. (2013) (Quadro 02) para cada tema e critérios considerados em cada área. Os valores foram estipulados com base em aspectos qualitativos (conforme avaliação do grupo de pesquisadores durante a atuação em campo) e quantitativos (extensão de ocorrência dos critérios mensuráveis em cada área).

Quadro 02. Níveis de fragilidade adotados no presente estudo.

Nível de fragilidade	Valores (%)	Cor na legenda	Breve descrição
Máxima	75,01 – 100	Preto	Incompatibilidade da área específica para o uso turístico
Alta	50,01 – 75	Vermelho	Compatibilidade relativa da área específica para o uso turístico, obedecendo-se a lógica das cores do semáforo. Do verde ao vermelho passando pelo amarelo, aumenta-se o nível de atenção e de cuidados para a execução da atividade.
Moderada	25,01 – 50	Amarelo	
Baixa	0,01 – 25	Verde	
Não classificado ou inexistente	-	Branco	Ausência de estudos e/ou fragilidades detectadas

Fonte: adaptado de Lobo et al. (2013).

O nível de fragilidade total em relação a cada tema de estudo foi então calculado para cada área por meio da equação 1, conforme Lobo et al. (2013) e Massuqueto (2013):

$$FTx = (FC1 + FC2 + \dots + FCn) / TCn (\%) \quad (1)$$

FTx – fragilidade total da área x da caverna para o tema em análise;

FC1,2...n – valor ou peso dado para cada critério que compõe o tema;

TCn – total de critérios considerados para cada tema.

Procedimentos para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental final

Após o mapeamento da fragilidade dos quatro temas escolhidos (feições geológicas, nível de circulação de energia, substrato e fauna cavernícola), procedeu-se à integração dos dados e obtenção da fragilidade ambiental média da Fenda da Freira. Para isso, foram utilizados os valores de fragilidade total de cada tema em cada uma das áreas. Os cálculos foram feitos para cinco áreas, já que esta foi a maior delimitação proposta do mesmo espaço analisado.

Os mapas temáticos elaborados nas etapas anteriores foram sobrepostos e integrados em um mapa final a partir do cálculo da fragilidade média de cada área, por meio da equação 2, conforme Lobo et al. (2013) e Massuqueto (2013):

$$FAMx = (FT1 + FT2 + \dots + FTn) / Tt \quad (2)$$

FAMx – fragilidade ambiental média da área x;

FT1,2,...n – nível de fragilidade total de cada tema;

Tt – total de temas analisados na área x.

Procedimentos para a elaboração dos produtos cartográficos

Os mapas de localização do Parque Nacional dos Campos Gerais e da Fenda da Freira foram produzidos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), através do programa QGIS Desktop 3.16 com o GRASS 7.8.4 associado. Os arquivos vetoriais e imagem orbital aplicados na construção dos mapas foram obtidos gratuitamente através das seguintes fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - limite territorial municipal, estadual e do Brasil; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) – limites do Parque Nacional dos Campos Gerais e; *Google Earth – raster Maxar Technologies* (2021).

Os mapas espeleológicos (plantas baixas) da Fenda da Freira, que representam os elementos do ambiente subterrâneo, e os de fragilidade ambiental foram elaborados pelo GUPE, que utilizou a técnica de poligonais abertas em bases fixas e flutuantes. O grau de

detalhamento dos mapas espeleológicos foi baseado na proposta de graduação de mapeamento do Grupo de Trabalho "Topografia e Mapeamento" da Comissão de Informática da *Union Internationale de Spéléologie* (UIS), método mais atual de graduação para mapeamento de cavernas (HAUSELMAN, 2012). Em acordo com convenções internacionais da Espeleologia, este tipo de produto cartográfico, específico de ambientes subterrâneos, dispensa a apresentação de coordenadas ou encartes de localização.

Resultados

A etapa de identificação e mensuração da fragilidade ambiental da Fenda da Freira resultou em quatro mapas temáticos, os quais evidenciam os níveis de fragilidade total (obtidos com a Equação 1) referentes a cada tema (ver Quadro 01) dentro das áreas previamente delimitadas. O conjunto da integração dos temas proporcionou um mapa final, que representa o quadro da fragilidade média (calculada a partir da Equação 2) para toda zona turística da Fenda da Freira (GUPE, 2019).

Os dados, mapas e descrições relacionados a esta etapa são apresentados nos subitens a seguir.

Fragilidade relacionada às feições geológicas

No Quadro 03 estão indicados os valores relativos aos níveis de fragilidade dos temas geológicos aqui considerados.

Quadro 03. Nível de fragilidade para os critérios do tema feições geológico.

Tema feições geológicas (fg)					
Critério	Área	Fragilidade (%)			
		Verde (0,01–25)	Amarelo (25,01–50)	Vermelho (50,01-75)	Preto (75,01-100)
Espeleotemas (ept)	1	-	-	-	-
	2	8,88			
	3		26,79		
	4	11,31			
	5			56,61	
Espeleogens (epg)	1	21,20			
	2	-	-	-	-
	3	6,08			
	4		48,32		

	5		42,97		
Estruturas (sedimentares e tectônicas) (est)	1	21,80			
	2		27,55		
	3	24,79			
	4				100
	5			61,33	

Fonte: os autores.

A partir dos valores atribuídos para cada critério foi calculado o nível de fragilidade total para o tema feições geológica para cada uma das cinco áreas (Equação 1):

$$FTfgx = (FCept + FCepg + FCest) / 3 (\%)$$

$$\text{Área 1: } FTfg1 = (0 + 21,2 + 21,8) / 3$$

$$FTfg1 = 43 / 3$$

$$FTfg1 = 14,33\%$$

$$\text{Área 2: } FTfg2 = (8,88 + 0 + 27,55) / 3$$

$$FTfg2 = 36,43 / 3$$

$$FTfg2 = 12,14\%$$

$$\text{Área 3: } FTfg3 = (26,79 + 6,08 + 24,79) / 3$$

$$FTfg3 = 57,66 / 3$$

$$FTfg3 = 19,22\%$$

$$\text{Área 4: } FTfg4 = (11,31 + 48,32 + 100) / 3$$

$$FTfg4 = 159,63 / 3$$

$$FTfg4 = 53,21\%$$

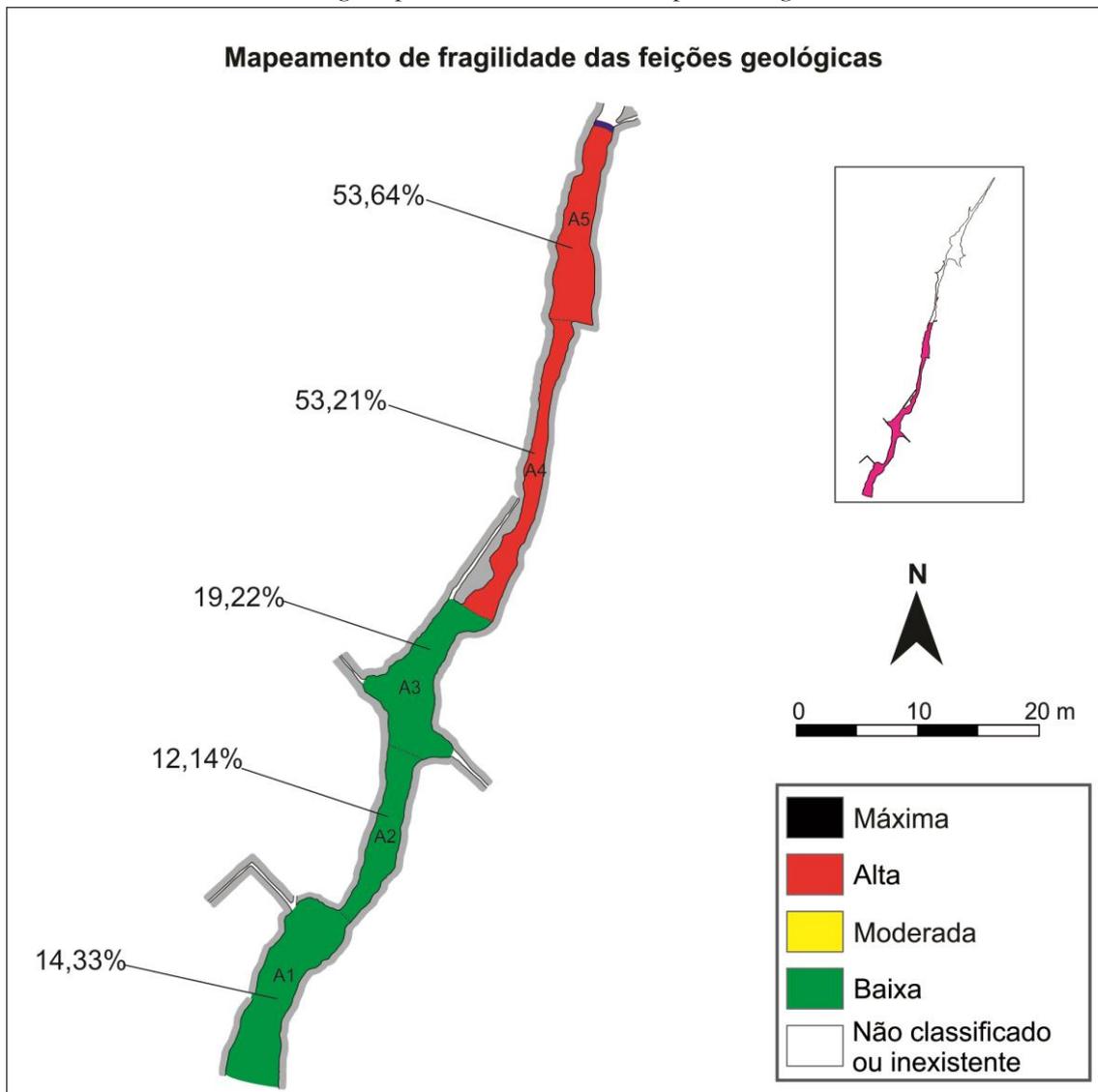
$$\text{Área 5: } FTfg5 = (56,61 + 42,97 + 61,33) / 3$$

$$FTfg5 = 160,91 / 3$$

$$FTfg5 = 53,64\%$$

Com o mapeamento de fragilidade das feições geológicas foi obtido o mapa contendo a espacialização deste quesito no ambiente subterrâneo, conforme mostra a Figura 06.

Figura 06. Mapa de fragilidade das feições geológicas do trajeto turístico da Fenda da Freira. Os códigos A1a A5 referem-se às áreas homólogas estabelecidas de acordo com a distribuição do tema avaliado e tais códigos aparecerão nos demais mapas de fragilidade ambiental.



Fonte: os autores, adaptado de GUPE (2010).

Fragilidade relacionada ao nível de circulação de energia

A Fenda da Freira foi enquadrada como um local com nível de circulação de energia moderado, com presença de um curso hídrico intermitente e escorrimentos e gotejamentos perenes que se intensificam em períodos chuvosos, com elevada capacidade de transporte. Há também uma boa predisposição à renovação das condições atmosféricas, com alterações químicas e físicas do ar em função do teto predominantemente aberto da fenda. Já a análise

de fragilidade deste tema partiu do princípio de que toda a zona turística receberia valores dentro do nível de fragilidade baixa, já que as condições não são limitantes para a visitação e nem são intensamente afetadas por tal atividade. Os valores atribuídos são apresentados no Quadro 04.

Quadro 04. Nível de fragilidade para os critérios do tema nível de circulação de energia.

Tema nível de circulação de energia (nce)					
Critério	Área	Fragilidade (%)			
		Verde (0,01–25)	Amarelo (25,01–50)	Vermelho (50,01-75)	Preto (75,01-100)
Dimensões das galerias (dg)	1	7,50			
	2	4,50			
	3	17,00			
Circulação de ar (ca)	1	5,00			
	2	3,00			
	3	8,00			
Dinâmica hídrica (dh)	1	10,00			
	2	10,00			
	3	7,00			

Fonte: os autores.

A partir dos valores atribuídos para cada critério foi calculado o nível de fragilidade total para o tema nível de circulação de energia para cada uma das três áreas.

$$FTncex = (FCdg + FCca + FCdh) / 3 (\%)$$

$$\text{Área 1: } FTnce1 = (7,5 + 5 + 10) / 3$$

$$FTnce1 = 22,5 / 3$$

$$FTnce1 = 7,50\%$$

$$\text{Área 2: } FTnce2 = (4,5 + 3 + 10) / 3$$

$$FTnce2 = 17,5 / 3$$

$$FTnce2 = 5,83\%$$

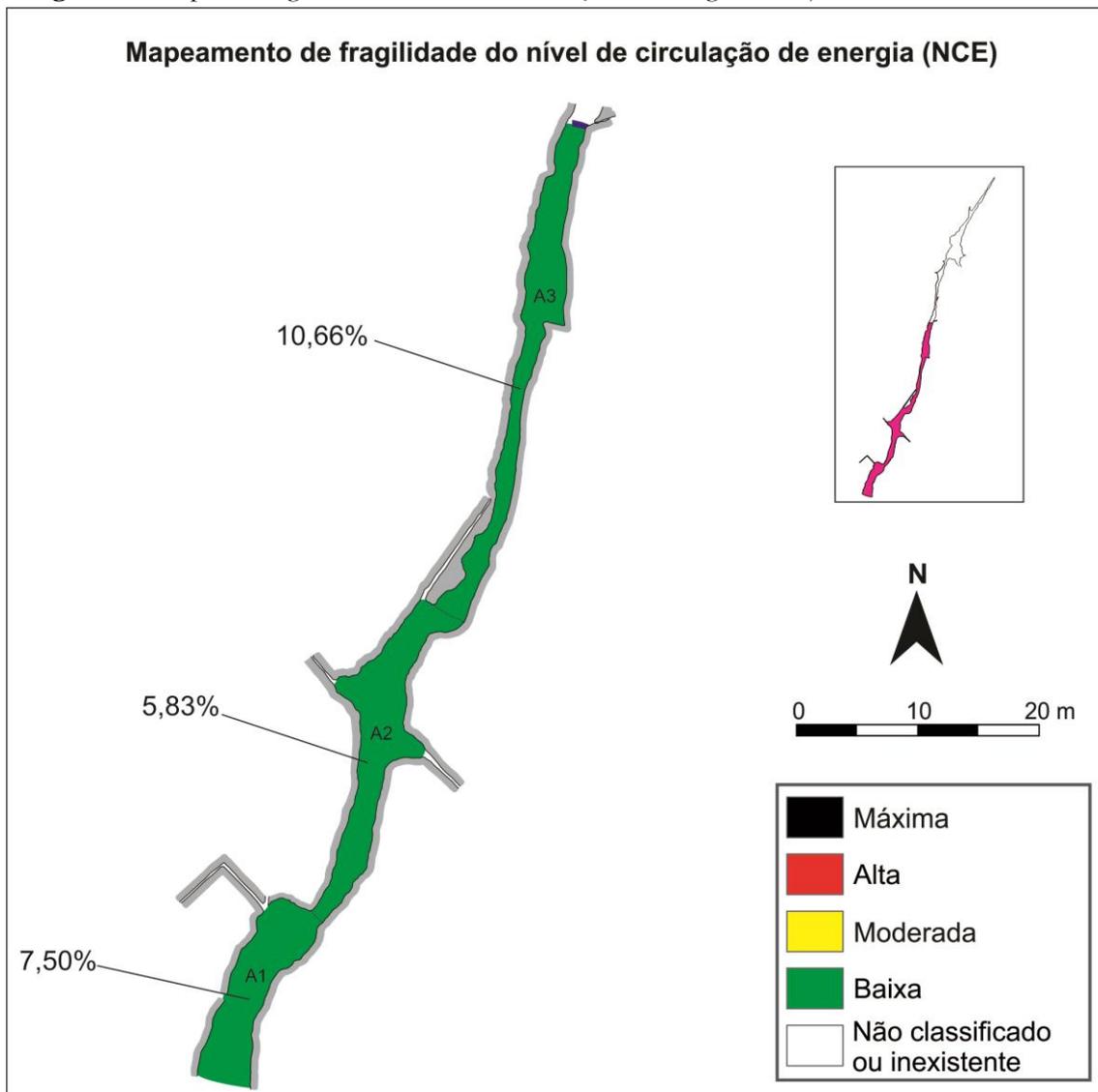
$$\text{Área 3: } FTnce3 = (17 + 8 + 7) / 3$$

$$FTnce3 = 32 / 3$$

$$FTnce3 = 10,66\%$$

O resultado final mostrou que, em relação ao nível de circulação de energia, todo o trajeto turístico da cavidade se enquadra como de baixa fragilidade (Figura 07).

Figura 07. Mapa de fragilidade do nível de circulação de energia do trajeto turístico da cavidade.



Fonte: os autores, adaptado de GUPE (2010).

Fragilidade relacionada ao substrato

Os percentuais obtidos por meio dos cálculos correspondem aos valores atribuídos no Quadro 05.

Quadro 05. Nível de fragilidade para os critérios do tema substrato.

Tema substrato (sub)					
Critério	Área	Fragilidade (%)			
		Verde (0,01–25)	Amarelo (25,01–50)	Vermelho (50,01-75)	Preto (75,01-100)
	1	-	-	-	-
	2				100

Erodibilidade depósitos clásticos (edc)	3			50,39	
	4		29,38		
Erodibilidade rocha (er)	1	-	-	-	-
	2	2,38			
	3	19,54			
	4			71,21	
Compactação do solo (cs)	1				100
	2		28,78		
	3	21,57			
	4	21,56			

Fonte: os autores.

A partir dos valores atribuídos para cada critério foi calculado o nível de fragilidade total para o tema substrato para cada uma das quatro áreas.

$$FT_{\text{sub}x} = (FC_{\text{edc}} + FC_{\text{er}} + FC_{\text{cs}}) / 3 (\%)$$

$$\text{Área 1: } FT_{\text{sub}1} = (0 + 0 + 100) / 3$$

$$FT_{\text{sub}1} = 100 / 3$$

$$FT_{\text{sub}1} = 33,33\%$$

$$\text{Área 2: } FT_{\text{sub}2} = (100 + 2,38 + 28,78) / 3$$

$$FT_{\text{sub}2} = 131,16 / 3$$

$$FT_{\text{sub}2} = 43,72\%$$

$$\text{Área 3: } FT_{\text{sub}3} = (50,39 + 19,54 + 21,57) / 3$$

$$FT_{\text{sub}3} = 91,5 / 3$$

$$FT_{\text{sub}3} = 30,5\%$$

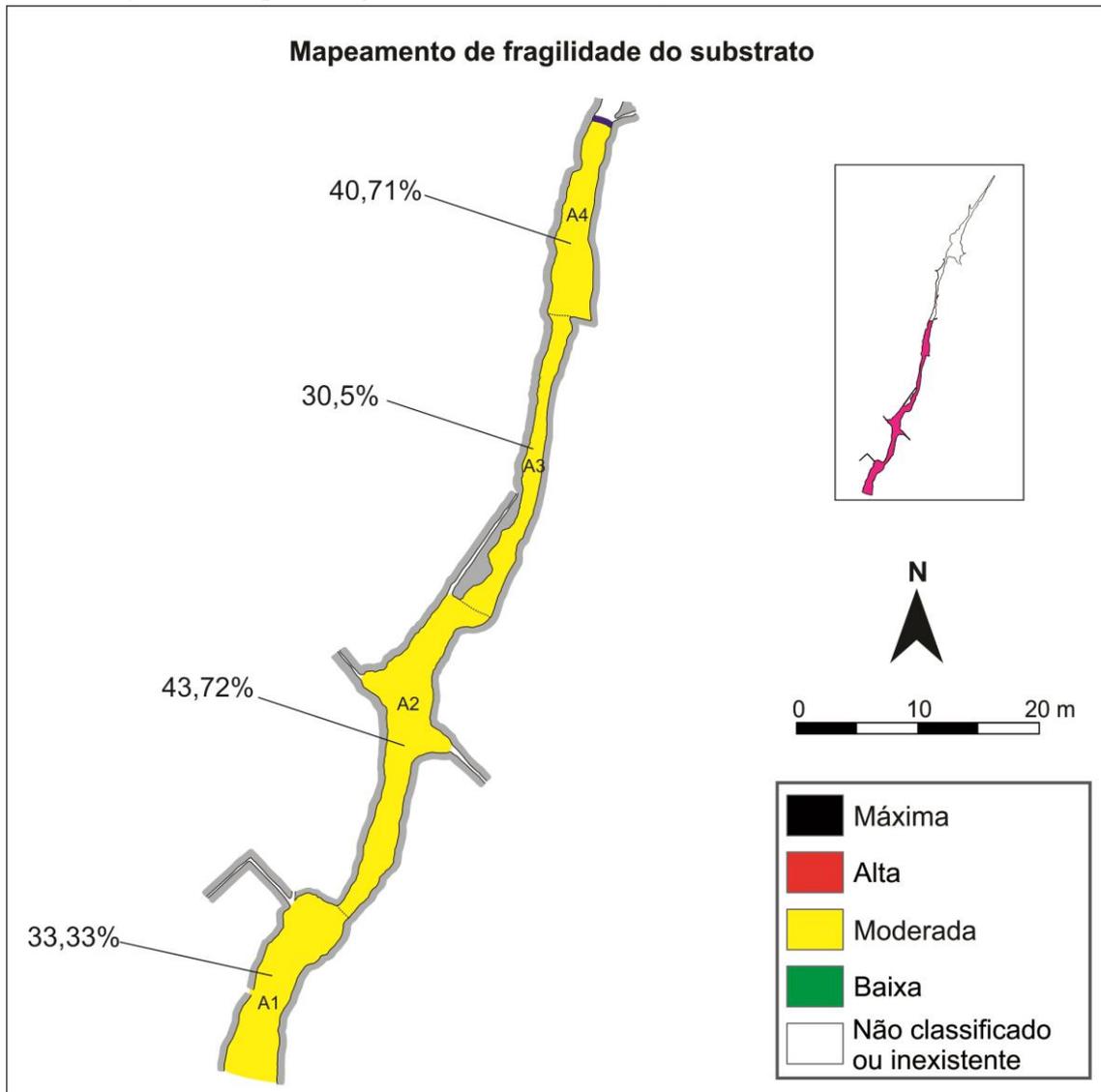
$$\text{Área 4: } FT_{\text{sub}4} = (29,38 + 71,21 + 21,56) / 3$$

$$FT_{\text{sub}4} = 122,15 / 3$$

$$FT_{\text{sub}4} = 40,71\%$$

O mapa de fragilidade do substrato (Figura 08) apontou que toda a área analisada na Fenda da Freira apresenta fragilidade moderada.

Figura 08. Mapa de fragilidade do substrato do trajeto turístico da Fenda da Freira.



Fonte: os autores, adaptado de GUPE (2010).

Fragilidade relacionada à fauna cavernícola

Os percentuais obtidos por meio dos cálculos apontados nos métodos correspondem aos valores atribuídos no Quadro 06.

Quadro 06. Nível de fragilidade para os critérios do tema fauna cavernícola.

		Tema fauna cavernícola (fc)			
Critério	Área	Fragilidade (%)			
		Verde (0,01–25)	Amarelo (25,01–50)	Vermelho (50,01-75)	Preto (75,01-100)

Ocorrência (oc)	1	-	-	-	-
	2			65,55	
	3				84,66
	4			60,91	
	5		42,57		

Fonte: os autores.

Considerando que o tema fauna cavernícola tem um único critério de análise, os valores apresentados no Quadro 06 correspondem ao nível de fragilidade total para o tema em cada uma das cinco áreas.

$$FTfcx = FCoc / 1 (\%)$$

$$\text{Área 1: } FTfc1 = 0\%$$

$$\text{Área 2: } FTfc2 = 65,55\%$$

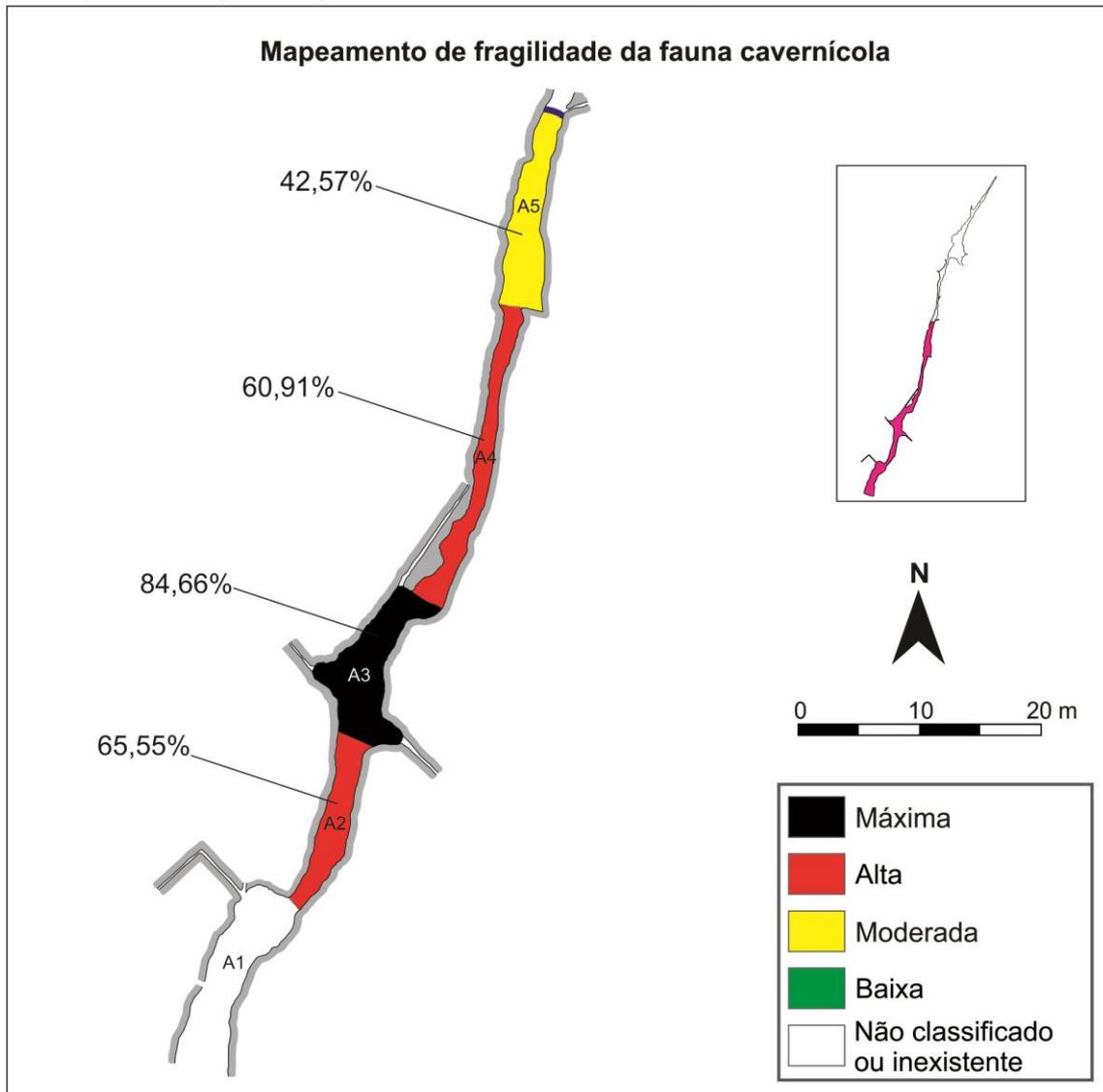
$$\text{Área 3: } FTfc3 = 84,66\%$$

$$\text{Área 4: } FTfc4 = 60,91\%$$

$$\text{Área 5: } FTfc5 = 42,57\%$$

A espacialização dos números acima obtidos resultou no mapa de fragilidade da fauna cavernícola, conforme apresentado na Figura 09.

Figura 09. Mapa de fragilidade da fauna cavernícola do trajeto turístico da Fenda da Freira.



Fonte: os autores, adaptado de GUPE (2010).

Integração dos mapas temáticos

Aplicando-se a fórmula geral (Equação 2) para cada uma das áreas mapeadas, temos:

$$\text{Área 1: FAM1} = (\text{FTfg1} + \text{FTnce1} + \text{FTsub1}) / 3 (\%)$$

$$\text{FAM1} = (14,33 + 7,5 + 33,33) / 3$$

$$\text{FAM1} = 56,16 / 3$$

$$\text{FAM1} = 18,72\%$$

$$\text{Área 2: FAM2} = (\text{FTfg2} + \text{FTnce2} + \text{FTsub2} + \text{FTfc2}) / 4 (\%)$$

$$\text{FAM2} = (12,14 + 5,83 + 43,72 + 65,55) / 4$$

$$\text{FAM2} = 127,24 / 4$$

$$\text{FAM2} = 31,81\%$$

$$\text{Área 3: FAM3} = (\text{FTfg3} + \text{FTnce3} + \text{FTsub3} + \text{FTfc3}) / 4 (\%)$$

$$\text{FAM3} = (19,22 + 5,83 + 43,72 + 84,66) / 4$$

$$\text{FAM3} = 153,43 / 4$$

$$\text{FAM3} = 38,36 \%$$

$$\text{Área 4: FAM4} = (\text{FTfg4} + \text{FTnce4} + \text{FTsub4} + \text{FTfc4}) / 4 (\%)$$

$$\text{FAM4} = (53,21 + 10,66 + 30,5 + 60,91) / 4$$

$$\text{FAM4} = 155,28 / 4$$

$$\text{FAM4} = 38,82\%$$

$$\text{Área 5: FAM5} = (\text{FTfg5} + \text{FTnce5} + \text{FTsub5} + \text{FTfc5}) / 4 (\%)$$

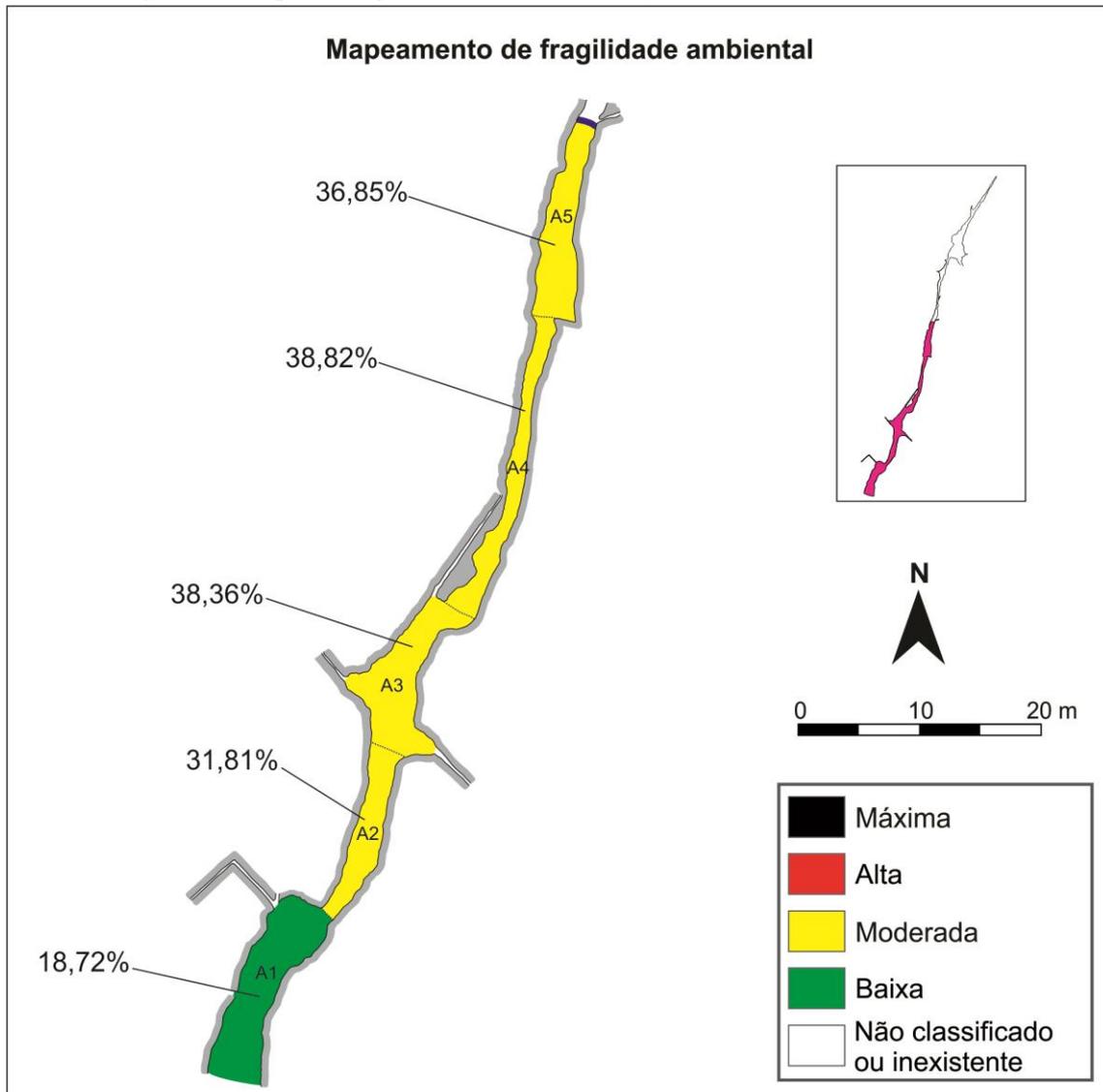
$$\text{FAM5} = (53,46 + 10,66 + 40,71 + 42,57) / 4$$

$$\text{FAM5} = 147,4 / 4$$

$$\text{FAM5} = 36,85\%$$

Os valores acima obtidos resultaram no mapa síntese, que representa a integração dos mapas de fragilidade desenvolvidos para cada tema trabalhado anteriormente (Figura 10).

Figura 10. Mapa de fragilidade ambiental do trajeto turístico da Fenda da Freira.



Fonte: os autores, adaptado de GUPE (2010).

Discussões

O mapeamento de fragilidade das feições geológicas apontou que a primeira metade do trajeto turístico da Fenda da Freira é classificada como de baixa fragilidade, enquanto que o restante da cavidade foi definido como de alta fragilidade. Isto se deve ao fato de que as porções finais do trajeto turístico apresentam elementos suscetíveis a impactos negativos pela visitação, principalmente espeleotemas e icnofósseis situados em pontos em que o visitante tem acesso, seja por meio do pisoteio, das mãos ou de atrito com o corpo.

A análise de fragilidade do nível de circulação de energia de toda a zona turística da Fenda da Freira indicou que todos os valores estão dentro das condições de baixa fragilidade. Como já apontado, as características morfológicas da cavidade que proporcionam circulação de ar eficiente e características hidroclimatológicas, com formação de canais temporários, ampliação e intensificação de escorrimentos e gotejamentos em períodos de chuva além de elevada umidade do ar, propiciam uma constante no nível de circulação de energia, sobretudo atmosférica.

Para além das condições físicas que caracterizam a circulação de energia na Fenda da Freira, e que foram consideradas na avaliação da fragilidade da cavidade, há também a questão da energia relacionada aos elementos biológicos, que também permeia este ambiente. Como a fenda apresenta teto predominantemente aberto (configurando abismos e claraboias) recebe carga regular de matéria orgânica oriunda do meio epígeo, que constitui fonte de alimento para a fauna cavernícola. A presença do andorinhão-de-coleira-falha também contribui com a alta circulação de energia no local. Esta espécie utiliza a fenda como área de nidificação e seus excrementos (guano) constituem matéria orgânica inserida no sistema de circulação de energia do ambiente subterrâneo em questão.

O mapa de fragilidade do substrato apontou que toda a área analisada na Fenda da Freira exibe fragilidade moderada. Isto ocorre por conta do elevado potencial de erosão (solos, sedimentos, rocha) ou compactação (solos e sedimentos) do substrato. As rochas areníticas da Formação Furnas são suscetíveis à erosão por pisoteio (devido, sobretudo, à fricção constante causada pelos calçados dos visitantes). Em alguns pontos da fenda ocorrem depósitos argilosos e até mesmo organossolos, que podem facilmente passar por processo de compactação, também devido ao pisoteio constante de visitantes.

O mapeamento de fragilidade da fauna cavernícola evidenciou que das quatro áreas avaliadas no trajeto turístico da Fenda da Freira, duas foram classificadas como de alta e uma de máxima fragilidade. Além de ser o tema que mais acarreta vulnerabilidade à cavidade, os resultados mostraram o potencial bioespeleológico deste ambiente e a importância da realização de levantamentos detalhados sobre a biota cavernícola. O espeleoturismo pode causar o pisoteio/esmagamento (involuntário ou não) da fauna, alterações comportamentais nas espécies subterrâneas, bem como a movimentação de matéria orgânica (retirada ou adição – através de material impregnado nos sapatos ou abandono de alimentos) (LOBO, 2006; ARAÚJO et al., 2017).

Por fim, a partir da integração dos mapas de fragilidade ambiental é possível afirmar que a maior parte da Fenda da Freira possui fragilidade ambiental moderada, o que evidencia um quadro de compatibilidade relativa da área trabalhada para o uso turístico. Desta forma, a visitação na Fenda da Freira deve ser planejada levando em conta os produtos cartográficos obtidos através do mapeamento de fragilidade. Os mapas temáticos e o mapa síntese devem ser examinados, compreendidos e considerados pelo gestor da área e guias de turismo, pois esta cartografia indica a localização de áreas mais sensíveis, com presença de elementos bióticos e abióticos de relevante valor científico e didático. Além disso, tais produtos podem orientar a definição dos melhores trajetos para caminhar na cavidade durante a visitação, garantindo uma experiência mais rica, segura e respeitosa com o patrimônio natural e cultural do atrativo e indicando o nível de solicitação dos guias em relação à atenção com o comportamento dos visitantes.

Conclusões

A Fenda da Freira é uma cavidade natural subterrânea de relevante valor científico e didático. Trata-se de um notável atrativo turístico, principalmente pela beleza cênica de suas paredes adornadas pela ação erosiva da água, que se destacam pela luz do sol que adentra a caverna e ilumina as briófitas e líquens que se desenvolvem na rocha, como um tapete verde natural.

Entretanto, esta beleza natural apresenta grande fragilidade e o uso turístico deste ambiente subterrâneo sem planejamento pode comprometer aspectos específicos da geodiversidade e biodiversidade. Estes impactos podem ser irreversíveis, principalmente em cavidades subterrâneas, por isso é essencial a elaboração de estudos e instrumentos voltados ao planejamento do uso público e conservação destes espaços.

O mapeamento de fragilidade ambiental se mostrou um importante instrumento a ser adotado no manejo da visitação na Fenda da Freira. A aplicação deste método de gestão do uso público, em cavidades naturais subterrâneas ou em outras áreas naturais, deve ser realizada a partir da constituição de um grupo de pesquisadores e consultores de caráter interdisciplinar. O objetivo desta medida, além de proporcionar espaços de diálogos e debates, enriquecendo e pluralizando as discussões e refinando definições de critérios para

as medidas (valores adotados) e avaliação de fragilidades, é reduzir ao máximo a subjetividade durante a análise em questão.

Como resultados do mapeamento de fragilidade ambiental da Fenda da Freira, foram identificadas áreas da cavidade com elementos de elevada sensibilidade à visitação, tais como os espeleotemas e a fauna de invertebrados. Os guias de turismo que atuarem na cavidade devem ser capacitados quanto às características naturais da fenda, não apenas para ajudar na sua proteção e de seus elementos, mas também para repassar aos visitantes as informações sobre esta área e suas fragilidades.

Os proprietários e gestores da Fenda da Freira, sob supervisão e acompanhamento do ICMBio, já estão considerando os resultados aqui expostos para a efetiva gestão do local por meio de um Plano de Uso Público, instrumento que está sendo aplicado na área desde 2019. Entretanto, é essencial a continuidade dos estudos relativos à fragilidade ambiental, acompanhando a influência do turismo nas condições naturais da cavidade através do monitoramento, e identificando possíveis mudanças, positivas ou negativas, que venham a acontecer.

Conclui-se que o mapeamento de fragilidade ambiental é um método eficiente para subsidiar a gestão do uso público de cavidades naturais subterrâneas, pois permite identificar com maior precisão os locais de fragilidade elevada, envolvendo os mais variados temas, que devem ser pensados a partir das realidades em análise. Esta identificação de locais vulneráveis, espacializada na forma de mapas temáticos da cavidade, resulta em produtos de fácil compreensão e assimilação, fato que auxilia diretamente na adoção de medidas mais precisas de manejo, que tenham como foco a conservação destes ambientes por parte dos gestores e proprietários de áreas naturais com uso público.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Buraco do Padre - Turismo, em especial os proprietários Priscila Scheffer Dias e Alvaro Fernandes Dias Filho, e a todos os funcionários da referida empresa que de alguma forma colaboraram com o desenvolvimento desta pesquisa e com o manejo do uso público na Fenda da Freira.

Referências

ARAÚJO, J.P.M.; BASÍLIO, G.H.N.; KRAMER, M.A.F.; MOURA, T.H.S.; NETO, M.R.; SILVA, M.. Fauna cavernícola e os impactos ambientais ao patrimônio espeleológico do município de Martins, Rio Grande do Norte, Brasil. **Espeleo-Tema**, SBE – Campinas, SP, v.28, n.2, p. 107-123, 2017.

ASSINE, M.L. Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas no flanco sudeste da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 3, p. 357-370, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Decreto de 23 de março de 2006. Cria o Parque Nacional dos Campos Gerais, no Estado do Paraná, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Dnn/Dnn10796.htm. Acesso em: 07 de abril de 2020.

BRILHA, J. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Lisboa: Palimage. 2005. 183p.

CARCAVILLA URQUI, L.; LÓPEZ-MARTINEZ, J.; DURÁN VALSERO, J.J. **Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación com los espacios naturales protegidos**. Instituto Geológico e Minero de España, Madri, 2007.

CIFUENTES, M. Determinación de Capacidad de Carga Turística en áreas protegidas. **Informe Técnico nº 194**. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, 1992. 20p.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1977 – **Projeto Leste do Paraná: Folha Pirai do Sul, escala 1:100.000. Relatório final**. São Paulo: DNPM; CPRM; BADEP, 1977. v. 1. 119 p.

GÓIS, J.R. de, FIORI, A.P., SALAMUNI, E. **Lineamentos e compartimentos tectônicos do Pré-Cambriano paranaense**. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 11, 1985, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SBG, 1985, p. 159-167.

GUIMARÃES, G.B., MELO, M.S., GIANNINI, P.C.F., MELEK, P.R. Geologia dos Campos Gerais. In: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. (Orgs.). **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2007, p. 23-32.

GUPE - Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas, 2010 – **Mapa espeleológico da Fenda da Freira, Ponta Grossa (PR)**. Documento interno, s/p.

GUPE - Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas, 2019 – **Plano de uso público da Fenda da Freira, Ponta Grossa (PR)**. Relatório final de serviço de consultoria ambiental sem fins lucrativos. 108p.

Mapeamento da fragilidade ambiental da fenda da freira, parque nacional dos campos gerais (Paraná): ferramenta para gestão do uso público de cavidade natural subterrânea. Henrique Simão Pontes, Laís Luana Massuqueto, Nair Fernanda Mochiutti Burigo, Gilson Burigo Guimarães, Jasmine Moreira Cardozo.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. John Wiley and Sons, Chichester, England, 2004.

GRAY, M. Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How? **The George Wright Forum**, v. 22, n. 3. 2005. p. 4-12.

HÄUSELMANN, P. **UIS Mapping Grades (Technical Note)**. International Journal of Speleology - Informatics commission working group «Survey and mapping». 2012. 3p.

Disponível em:

<https://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1046&context=ijs>. Acessado em: 23 de março de 2021.

HJORT, J.; GORDON, J. E.; GRAY, M.; HUNTER JR., M. L. Why geodiversity matters in valuing nature's stage. Society for Conservation Biology. **Conservation Biology**, v.29, n.3. 2015. p. 630-639.

LOBO, H.A.S. **Caracterização dos impactos ambientais negativos do espeleoturismo e suas possibilidades de manejo**. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM TURISMO DO MERCOSUL E SEMINÁRIO DA ANPTUR, 4, 3, 2006, Caxias do Sul. Anais...

Caxias do Sul: EDUCS, v. 4, 2006. Disponível em:

<https://www.anptur.org.br/anais/anais/files/3/41.pdf>. Acesso em: 06 de abril de 2020.

LOBO, H.A.S. **Estudo da dinâmica atmosférica subterrânea na determinação da capacidade de carga turística na caverna de Santana (Petar, Iporanga, SP)**. 2011.

Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/102943>. Acesso em: 22 de março de 2021.

LOBO, H.A.S.; TRAJANO, E.; MARINHO, M.A.; BICHUETTE, M.E.; SCALEANTE, J.A.B.; SCALEANTE, O.A.F.; ROCHA, B.N.; LATERZA, F.V. Projection of tourist scenarios onto fragility maps: Framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. **Tourism Management**, v. 35. p. 234-243, 2013.

MAACK, R. **Geografia do estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro: J.Olympio, 1981.

MASSUQUETO, L.L. **Estudo do manejo turístico na gruta de Pinheiro Seco (PR): estratégias para a geoconservação do patrimônio espeleológico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa.

MELO, M.S.; LOPES, M.C.; BOSKA, M.A. Furna do Buraco do Padre, Formação Furnas, PR - Feições de erosão subterrânea em arenitos devonianos da Bacia do Paraná. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S. (Orgs.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009, p. 47-56.

Mapeamento da fragilidade ambiental da fenda da freira, parque nacional dos campos gerais (Paraná): ferramenta para gestão do uso público de cavidade natural subterrânea. Henrique Simão Pontes, Laís Luana Massuqueto, Nair Fernanda Mochiutti Burigo, Gilson Burigo Guimarães, Jasmine Moreira Cardozo.

MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; SANTANA, A.C. Fisiografia da bacia do rio Pitangui. In: GEALH, A.M.; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Orgs.). **Pitangui, rio de contrastes - seus lugares, seus peixes, sua gente**. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2010, p. 11-21.

MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; FIGURIM, I.; BAGATIM, H.Q.; GIANNINI, P.C.F. 2011. Carste em rochas não-carbonáticas: o exemplo dos arenitos da Formação Furnas, Campos Gerais do Paraná/Brasil e as implicações para a região. SBE – Campinas, SP. **Espeleo-Tema**. v.22, n.1. p. 81-97.

NAUMOV N., GREEN D. Mass tourism. In: JAFARI J., XIAO H. (eds) **Encyclopedia of Tourism**. Springer, Cham, 2016, 1168. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01384-8_378

PONTES, H.S. **Fenda da Freira, Ponta Grossa – PR. Cavidade subterrânea em arenitos da Formação Furnas**. In: SEMANA DE GEOGRAFIA DA UEPG, 17, 2010, Ponta Grossa. Anais... Ponta Grossa: DEGEO, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.gpme.org.br/bd/wp-content/uploads/others/pdf/bd-gpme-0634.pdf>. Acesso em: 07 de abril de 2020.

PONTES, H.S.; ROCHA, H.L.; MASSUQUETO, L.L.; MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; LOPES, M.C. Mudanças recentes na circulação subterrânea do rio Quebra-Pedra (furna do Buraco do Padre, Ponta Grossa, Paraná). **Espeleo-Tema: Campinas, SBE**, v. 21, n. 1, p.7-16, 2010.

PONTES, H.S. **Espacialização de Feições Cársticas na Formação Furnas: Ferramenta para Gestão do Território no Município de Ponta Grossa (PR)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território), Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; FOLTRAN, A.C.; PONTES, F.S.; GUIMARÃES, G.B.; MOCHIUTTI, N.F.B.; GUIMARÃES, S.K.; BURGARDT, S.; DO VALE, T.F.; FEITOSA, N.M.N. **Patrimônio espeleológico do Parque Nacional dos Campos Gerais: Ações prioritárias para o manejo e propostas de ampliações da Unidade de Conservação**. Editora GUPE - Ponta Grossa. 2018.

PONTES, H. S. **Patrimônio geológico cárstico em rochas areníticas e políticas públicas de geoconservação, com base em estudo de caso do município de Ponta Grossa (PR)**. 2019. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, Curitiba.

SOUZA, C. R. G.; SOUZA, A. P. O escarpamento estrutural Furnas na região S-SE do Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Edit.). 2000. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio080/sitio080.htm>. Acessado em: 22/03/2021.

Mapeamento da fragilidade ambiental da fenda da freira, parque nacional dos campos gerais (Paraná): ferramenta para gestão do uso público de cavidade natural subterrânea. Henrique Simão Pontes, Laís Luana Massuqueto, Nair Fernanda Mochiutti Burigo, Gilson Burigo Guimarães, Jasmine Moreira Cardozo.

TRAJANO, E. Políticas de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. **Estudos Avançados**, 24(68), 2010, p. 135-146.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. In.: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. **Origem e evolução de Bacias Sedimentares**. 2. ed. Rio de Janeiro: Gávea. Cap. Bacia do Paraná, 1990, p. 135- 168.

Submetido em: abril de 2020.

Aceito em: março de 2021.