

# VRB Esp

## Revista Brasileira de ESPELEOLOGIA

Edição Especial, V.01 - Nº 13 de 2024  
ISSN 2179.4952

EDIÇÃO ESPECIAL

2º Prêmio  
**Nacional**  
de Espeleologia



**Michel  
Le Bret**



### Equipe editorial

Júlio Ferreira da Costa Neto, Jocy Brandão Cruz, Julio César Rocha Costa,  
Diego de Medeiros Bento, Thais Xavier Nunes e Claudia Simone da Luz Alves.



**VRBEsp**  
Revista Brasileira de  
**ESPELEOLOGIA**

Brasília-DF  
2024



## Expediente edição especial

Publicada pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – ICMBio/Cecav [www.icmbio.gov.br/cecav](http://www.icmbio.gov.br/cecav)  
Endereço: Parque Nacional de Brasília. Rodovia BR 450, km 8,5 via Epia. CEP: 70635-800, Brasília/DF. Brasil.  
Telefone: +55 (61) 2028-9792.

### Editores

#### Júlio Ferreira da Costa Neto

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

#### Jocy Brandão Cruz

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

### Comissão de apoio editorial

#### Claudia Simone da Luz Alves

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

#### Thais Xavier Nunes

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

#### Diego de Medeiros Bento

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

#### Julio César Rocha Costa

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

### Comissão Científica da edição especial

#### Dr. Allan Silas Calux

Scientific Director at Carstografica –Karst Applied Research Centre, Campinas, São Paulo, Brasil.

#### Me. Xavier Prous

Analista de Meio Ambiente na Gerência de Espeleologia da Mineradora Vale S.A.

### Coordenação editorial

#### Javiera de la Fuente C.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentabilidade - IABS.

### Projeto gráfico

#### Bruno Silva Bastos

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentabilidade - IABS.

### Diagramação

#### Júlia Mendes Araújo

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentabilidade - IABS.

### Foto da capa

Gruta Ermida, Almirante Tamandaré /PR / **Rodrigo Lopes Ferreira**

## Catálogo na Fonte

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

---

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Revista Brasileira de Espeleologia. Edição Especial – 2º Prêmio Nacional de Espeleologia Michel Le Bret / Julio Ferreira da Costa Neto e Jocy Brandão Cruz (ed.) – Brasília: ICMBio, 2024.

ISSN 2179.4952 - Online

368 p. ; Il. Color.

1. Espeleologia. 2. Estudos Ambientais. 3. Geomorfologia cárstica. 4. Biologia subterrânea. I. Julio Ferreira da Costa Neto II. Jocy Brandão Cruz. III. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. VI. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – ICMBio/Cecav. V. Título.

CDU: 551.44

---

A reprodução total ou parcial desta obra é permitida, desde que citada a fonte.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE  
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade  
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas  
Rodovia BR 450, km 8,5 via Epia – Parque Nacional de Brasília  
CEP: 70635-800 - Brasília/DF - Tel: 61 2028-9792  
<http://www.icmbio.gov.br/CECAV>



# CONEXÃO HÍDRICA ENTRE AS CAVERNAS QUARTZÍTICAS BROMÉLIAS e MARTIMIANO II, NA SERRA DE IBITIPOCA, MG

## HYDRIC CONNECTION BETWEEN THE BROMELIA AND MARTIMIANO II QUARTZITE CAVES, IN THE IBITIPOCA MOUNTAIN RANGE, MG

### **Gabriel Lourenço Carvalho de Oliveira**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Sociedade Excursionista e Espeleológica  
E-mail: gabriel.carvalho@aluno.ufop.edu.br

### **Pedro Henrique da Silva Assunção**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Sociedade Excursionista e Espeleológica  
E-mail: ph.assuncao.007@gmail.com

### **Paulo Eduardo Santos Lima**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Sociedade Excursionista e Espeleológica  
E-mail: paulo.lima1@aluno.ufop.edu.br

### **Tiago Vilaça Bastos**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Sociedade Excursionista e Espeleológica  
E-mail: foxgeologia@gmail.com

### **Isaac Daniel Rudnitzki**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Sociedade Excursionista e Espeleológica  
E-mail: isaac.rudnitzki@ufop.edu.br

## RESUMO

Definir sistemas de cavernas e fluxos hídricos subterrâneos quando a passagem humana é impossibilitada faz-se necessário o uso de técnicas específicas como hidroquímica e a aplicação de corantes traçadores fluorescentes, que são metodologias amplamente usadas em

## ABSTRACT

*Defining cave systems and underground water flows when human passage is impossible requires the use of specific techniques such as hydrochemistry and fluorescent dye tracers application, which are widely used methodologies in karst environments. The Ibitipoca State Park (Parque Estadual do Ibitipoca*



ambientes cársticos. O Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB) está em um distrito espeleológico com elevado número de cavidades em rochas siliciclásticas cadastradas em uma área relativamente pequena (1.488 ha), a maior densidade de cavernas em rochas siliciclásticas de grande porte do Brasil. Sendo assim, este trabalho busca determinar a possível conexão hídrica das drenagens das duas maiores cavernas do PEIB, a Gruta Martimiano II (a maior caverna em quartzito do país) e a Gruta das Bromélias, por meio da análise hidrogeoquímica e da técnica de traçadores fluorescentes, consequentemente definindo o provável maior sistema quartzítico do Brasil, com aproximadamente 7,5 km de condutos subterrâneos.

**PALAVRAS-CHAVE:** quartzito, cavernas, ibitipoca, traçadores.

## INTRODUÇÃO

A presença de cavernas em rochas siliciclásticas são registradas em diferentes locais do mundo, onde redes de cavernas com grandes magnitudes tem sido alvo de estudos sobre espeleogênese, hidroquímica e topografia (Martini 1982, Corrêa-Neto 1997, Aubrecht *et al.* 2011, Fabri 2014, Auler & Sauro 2019). No Brasil, as cavernas em rochas siliciclásticas representam 16% das cavidades conhecidas e cadastradas, ocorrem em áreas cársticas abrangendo cerca de 4,6% do território nacional (Rubiolli *et al.* 2019).

Uma técnica hidrogeológica estabelecida, principalmente em sistemas carbonáticos, é a aplicação de traçadores fluorescentes para a definição de fluxos subterrâneos (Käss 1998, Field 2002, Goldscheider & Drew 2007, Palmer 2007, Ford e Williams 2007, Leibundgut *et al.* 2009, Benischke 2021). Auler (2020) cita limitações

*PEIB) is in a speleological district with a high number of registered siliciclastic rock caves in a relatively small area (1,488 ha), the highest density of large siliciclastic rock caves in Brazil. Therefore, this work aims to determine the possible water connection of the two largest caves in the PEIB waterflows, the Martimiano II Cave (the country's largest quartzite cave) and the Bromélias Cave. This was done by hydrogeochemical analysis and the fluorescent tracer technique, consequently defining the probable largest quartzite system in Brazil, with approximately 7.5 km of underground conduits*

**KEYWORDS:** Quartzite, Caves, Ibitipoca, Tracer.

## INTRODUCTION

*The presence of caves in siliciclastic rocks is recorded in different places around the world, where cave networks with large magnitudes have been the subject of speleogenesis, hydrochemistry and topography studies (Martini 1982, Corrêa-Neto 1997, Aubrecht *et al.* 2011, Fabri 2014, Auler & Sauro 2019). In Brazil, siliciclastic rock caves represent 16% of the known and registered caves, occurring in karst areas covering around 4.6% of the national territory (Rubiolli *et al.* 2019).*

*The application of fluorescent tracers to define underground flows is an established hydrogeological technique, mainly in carbonate systems (Käss 1998, Field 2002, Goldscheider & Drew 2007, Palmer 2007, Ford and Williams 2007, Leibundgut *et al.* 2009, Benischke 2021). Auler (2020) cites limitations in these studies when the tests are carried out on siliciclastic rocks, mainly due to the degrada-*

nesses estudos quando os testes são feitos em rochas siliciclásticas, principalmente pela degradação da Fluroceína em águas ácidas. Por sua vez, a análise de parâmetros físico-químicos e das características hidroquímicas das águas subterrâneas também podem fornecer importantes informações sobre a dinâmica do fluxo hídrico em um sistema cárstico.

Definida por Correa-Neto (1997), a Província Espeleológica Quartzítica Andrelândia (PEA) apresenta cavernas desenvolvidas sobre rochas quartzíticas na porção basal do Grupo Andrelândia. Nesta província está localizado o Distrito Espeleológico Ibitipoca, foco deste estudo, que possui notável importância no cenário espeleológico mundial, não só pela ocorrência de grande número de cavernas, mas também pelas dimensões notáveis destas.

Inseridas no Distrito Espeleológico de Ibitipoca, e dos limites do Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB), destacam-se a Gruta Martimiano II e Gruta das Bromélias, maior caverna em quartzito do Brasil com 4170 metros de projeção horizontal e a quinta maior, com 3447 metros, respectivamente. Essas duas cavidades possuem fluxo hídrico perene com direções parecidas ( $Az = 190^\circ$ ) e estão separadas por 220 metros.

Neste sentido, este trabalho pretende dar enfoque a essas duas grutas, utilizando as técnicas de comparação hidroquímica e testes de traçador para comprovar a conexão hídrica entre elas e o estabelecimento do maior sistema de cavernas quartzíticas do Brasil com aproximadamente 7,5 km de extensão.

*tion of fluorescein in acidic waters. In addition, the analysis of physical-chemical parameters and the hydrochemical characteristics of groundwater can also provide important information on the karst system's water flow dynamic.*

*The Andrelândia Quartzite Speleological Province (Província Espeleológica Quartzítica Andrelândia PEA), as defined by Correa-Neto (1997), features quartzite caves developed in the basal portion of the Andrelândia Group. This province is home to the Ibitipoca Speleological District, which is the focus of this study. It is also of notable importance on the world's speleological scene, not only because of the large number of caves, but also for their remarkable size.*

*The Martimiano II and Bromélias Caves stand out within Ibitipoca State Park's limits, inserted in the Ibitipoca Speleological District. They are respectively the largest quartzite cave in Brazil with 4170 meters of horizontal projection and the fifth largest, with 3447 meters. These two caves are separated by 220 meters and have perennial water flow in similar directions ( $Az = 190^\circ$ ).*

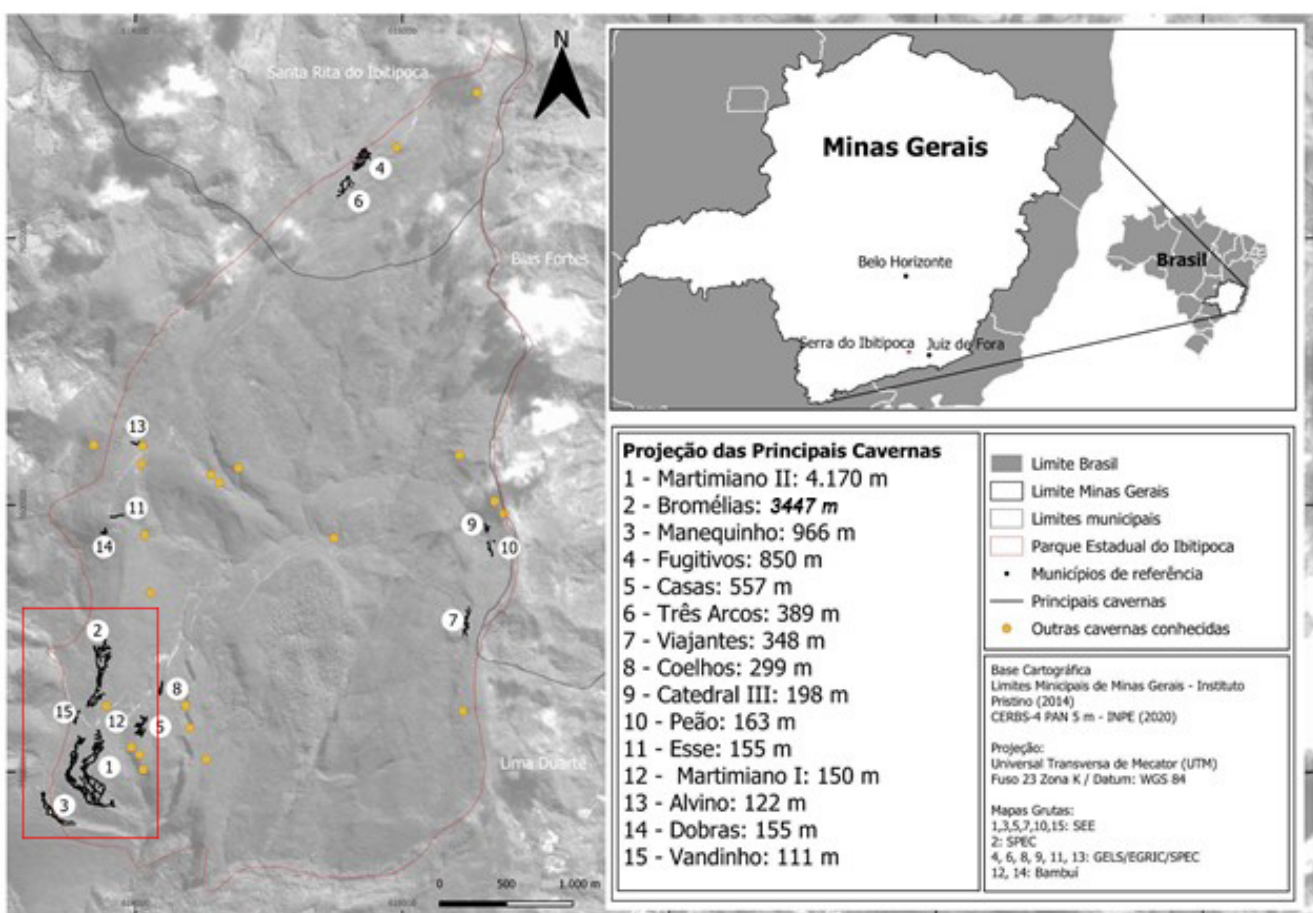
*In that context, this work aims to focus on these two caves, using the hydrochemical comparison and tracer tests techniques to prove the water connection between them and the establishment of the largest quartzite cave system in Brazil, approximately 7.5 km long.*

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região sul do estado de Minas Gerais, Brasil, mesorregião denominada Zona da Mata, no município de Lima Duarte. Encontra-se especificamente dentro dos limites do setor sudoeste do Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB), que é uma unidade de proteção integral do estado de Minas Gerais, gerida pelo Instituto Estadual de Floresta (IEF) (Figura 1).

## CHARACTERIZATION OF THE STUDY AREA

The study area is located in the southern part of Minas Gerais state, Brazil, in the Lima Duarte municipality mesoregion known as Zona da Mata. It lies specifically within the Ibitipoca State Park's southwestern sector boundaries, which is an integral protection unit of Minas Gerais state, managed by the State Forest Institute (Instituto Estadual de Floresta IEF) (Figure 1).



**Figura 1** - Mapa de localização da área com destaque para o retângulo vermelho indicando as cavernas da área de estudo.

**Figure 1** - Location map of the area with the red rectangle indicating the caves in the study area.

Segundo Rodela & Tarifa (2002), o clima da Serra de Ibitipoca é classificado como tropical de altitude mesotérmico, com verões chuvosos e invernos secos e frios. Essa classificação consi-

According to Rodela & Tarifa (2002), the Ibitipoca mountain range climate is classified as mesothermal high altitude tropical, with rainy summers and dry, cold winters. This classifica-



dera a posição geográfica além das condições térmicas e pluviométricas da Serra de Ibitipoca.

Em relação ao contexto geológico, a área de estudo encontra-se inserida no segmento central da Província Mantiqueira, essa que se desenvolveu durante a Orogênese Brasileira, por processos diacrônicos e estritamente acrescionários, de arcos-de-ilhas e colisão continente-continente (Heilbron *et al.* 2004). O segmento central da Província Mantiqueira engloba o Orógeno Ribeira e sua zona de interferência com o Orógeno Brasília, região esta que foi intensamente afetada por essas deformações orogênicas.

As rochas aflorantes na Serra do Ibitipoca compõem a Sequência Carrancas, formação São Tomé das Letras, unidade basal da Megassequência Andrelândia (Paciullo, 2003). Pelo menos cinco variantes litológicas são apresentadas por Silva (2004) para a Serra do Ibitipoca e seus entornos, aqui destaca-se o quartzito grosso com intercalações de quartzito fino, litologia onde estão inseridas as cavernas do setor sudoeste do PEIB. Destas litologias, o quartzito fino tem maior tendência a espeleogênese, devido a maior quantidade de argilominerais e caulim, se comparado ao quartzito grosso.

Apesar da Serra do Ibitipoca ser toda constituída pelas rochas da Megassequência Andrelândia, as áreas do entorno, com menores altitudes, são compostas por duas unidades do Complexo Mantiqueira. Essas unidades são classificadas por Pinto & Grossi Sad (1991) como um biotita-plagioclásio-gnaiss e por um granada-biotita-gnaiss. Além dessas unidades, ocorrem depósitos coluvionares quaternários, que estão localizados na base da Serra do Ibitipoca (Figura 2). As cavidades estão localizadas apenas nos quartzitos da Fm. São Tomé das Letras, Sequência Carrancas.

*tion takes into account Ibitipoca mountain range geographical position as well as the thermal and rainfall conditions.*

*Regarding the geological context, the study area is located in the Mantiqueira Province's central segment, which developed during the Brazilian Orogeny, through diachronic and strictly accretionary processes of island arcs and continent-continent collisions (Heilbron *et al.* 2004). The Mantiqueira Province's central segment encompasses the Ribeira Orogen and its interference zone with the Brasília Orogen, a region that was intensely affected by these orogenic deformations.*

*The outcropping rocks in the Ibitipoca mountain range make up the Carrancas Sequence, São Tomé das Letras Formation, basal unit of Andrelândia Megasequence (Paciullo, 2003). At least five lithological variants are presented by Silva (2004) for the mountain range and its surrounding. Here the thick quartzite with fine quartzite intercalations, lithology in which the caves in the southwest sector of the PEIB are located, are highlighted. Of these lithologies, fine quartzite is more prone to speleogenesis, due to the greater amount of clay minerals and kaolin compared to thick quartzite.*

*Although the entire Ibitipoca mountain range is made up of rocks from the Andrelândia Megasequence, the surrounding areas, at lower altitudes, are made up of two units from the Mantiqueira Complex. These units are classified by Pinto & Grossi Sad (1991) as a biotite-plagioclase-gneiss and a garnet-biotite-gneiss. In addition to these units, there are Quaternary colluvial deposits, which are located at the base of Ibitipoca mountain range (Figure 2). Caves are located only in the quartzites of São Tomé das Letras Formation.*

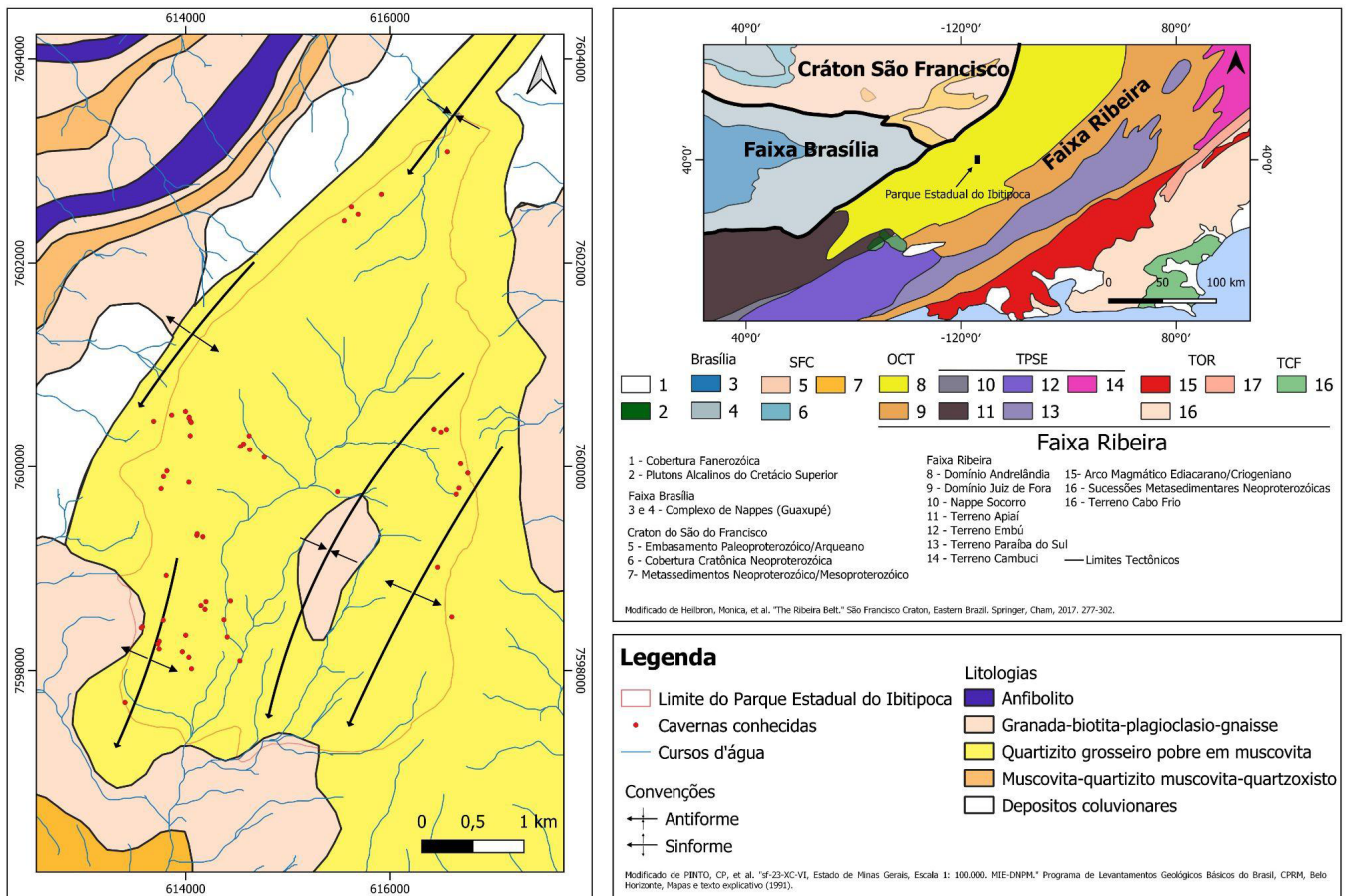


Figura 2 - Mapa geotectônico e geológico da área de estudo, destacando as principais litologias aflorantes nos limites do PEIB.

Figure 2 - Study area's geotectonic and geological map, highlighting the main outcropping lithologies within the PEIB boundaries.

Segundo Rodela (2000a), as drenagens da Serra de Ibitipoca, ocorrem de formas superficiais e são controladas pelas formas de relevo como vales e escarpas, e de formas subterrâneas que são controladas por zonas de fraturas, condutos na forma de rios, percolação e gotejamentos.

According to Rodela (2000a), the Ibitipoca mountain range surface runoff is controlled by relief forms such as valleys and escarpments, and the underground runoff is controlled by fracture zones, underground rivers, percolation and drips.

A drenagem principal da região é o Rio do Peixe, que passa por Lima Duarte e pertence à bacia do Rio Paraíba do Sul. Dois de seus afluentes, os rios do Salto e Vermelho, possuem nascentes dentro da Serra do Ibitipoca. A bacia do Rio Vermelho está restrita à porção norte da serra, enquanto o Rio do Salto percorre todo o vale de nordeste para sudoeste. As cavernas da área de estudo estão inseridas na bacia do Rio do Salto, com as drenagens sendo afluentes do mesmo.

The Rio do Peixe is the main drainage in the region. It passes through Lima Duarte and belongs to the Paraíba do Sul river basin. Two of its tributaries, the Salto and Vermelho rivers, have their sources in the Ibitipoca mountain range. The Vermelho River basin is restricted to the northern portion of the mountain range, while the Salto River runs through the valley from northeast to southwest. The caves in the study area are located in the Salto river basin, with the streams being its tributaries.

Do ponto de vista da espeleologia, vários trabalhos já foram realizados na região da Serra do Ibitipoca. Perez & Grossi (1987), descrevem a existência de pelo menos 13 (treze) grutas dentro dos limites do PEIB; além disso, caracterizam a região como um distrito espeleológico, não somente pela existência dessas cavidades, mas também por apresentar diversas feições cársticas superficiais. Posteriormente estudos de Corrêa-Neto (1993); Corrêa-Neto (1997); Corrêa-Neto *et al.* (1997); Silva (2004); Bento (2015); Teixeira-Silva (2017); Lima *et al.* (2017) e Aguiar (2019) surgem para complementar as informações sobre a espeleologia da serra. De acordo com o banco de dados disponível no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), existem atualmente 36 cavernas cadastradas dentro dos limites do PEIB.

A Gruta Martimiano II é a maior caverna do PEIB, além de ser a maior em rocha siliciclástica do Brasil, possui 4.140 metros de projeção horizontal e 157 metros de desnível (Rubbioli *et al.* 2019). Aguiar (2019) descreve setores secos com pouca ou ausência de água circulante e erosão ativa, em que feições de escavação canalizadas são observadas, apesar da ausência de drenagens. Além disso, descreve setores com fluxo hídrico perene, que percorre todo o conduto principal da parte leste, surgindo em meio a blocos abatidos intransponíveis até a surgência da gruta na segunda boca.

A Gruta das Bromélias, possui 3.447 metros de galerias topografadas (Oliveira, 2022), essa cavidade, durante muito tempo, permaneceu como sendo a maior do PEIB, até a topografia da Gruta Martimiano II. Apresenta fluxos com poucos centímetros de profundidade que estão presentes por boa parte da

*From the speleological point of view, several studies have been carried out in the Ibitipoca mountain range area. Perez & Grossi (1987) describe the existence of at least 13 (thirteen) caves within the PEIB boundaries; in addition, they characterize the region as a speleological district, not only because of the existence of these caves, but also for its several superficial karst features. Subsequently, studies by Corrêa-Neto (1993); Corrêa-Neto (1997); Corrêa-Neto *et al.* (1997); Silva (2004); Bento (2015); Teixeira-Silva (2017); Lima *et al.* (2017) and Aguiar (2019) have complemented the information on the mountain range speleology. According to the Brazilian Speleological Society (Sociedade Brasileira de Espeleologia SBE) National Cave Register (Cadastro Nacional de Cavernas CNC) available database, there are currently 36 registered caves within the PEIB boundaries.*

*The Martimiano II Cave is the largest cave in the PEIB, as well as the largest siliciclastic rock cave in Brazil, with 4,140 meters of horizontal projection and 157 meters of level difference (Rubbioli *et al.* 2019). Aguiar (2019) describes dry sectors with little or no circulating water and active erosion, in which channelized excavation features are observed, despite the absence of streams. In addition, he describes sectors with perennial water flow, which runs through the eastern part's entire main conduit, emerging in the midst of impassable collapsed blocks until the cave emerges at the second entrance.*

*The Bromélias Cave has 3,447 meters of mapped galleries (Oliveira, 2022). For a long time, this cave remained as the largest in the PEIB, until the Martimiano II Cave was mapped. It has few centimeters deep streams that are present throughout most of the cave. These water flows are found just before the sinkhole, and at some points in the cave it is possible to see their deviation, caused by the*



cavidade. Esses fluxos se encontram logo antes do sumidouro, em alguns pontos da cavidade é possível observar o desvio desses fluxos, causados por acúmulo de sedimentos oriundos do desabamento de algumas galerias (Corrêa-Neto *et al.*, 1993).

Entre elas ocorrem duas pequenas cavidades, as cavernas Vandinho e Jacinto Lage, que estão localizadas entre o sumidouro da Gruta das Bromélias e a surgência da Gruta Martimiano II, a 30 metros da estrada principal do PEIB. No final da Gruta do Vandinho, é observada uma pequena drenagem perene.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### **Análises comparativas dos parâmetros físico-químicos e hidroquímicos**

Os pontos de coleta para as análises físico-químicas e hidroquímicas de água foram previamente selecionados a partir das informações hidrogeológicas detalhadas obtidas pelos mapas topográficos. A partir dessa pré-seleção, na etapa de campo foram confirmados critérios de localização, contribuição de fontes externas e intermitentes, além da vazão e perenidade da drenagem. Com isso foram selecionados 11 pontos de amostragem (Figura 3), sendo 4 na Gruta Martimiano II, e 7 na Gruta das Bromélias.

*sediment accumulation from the collapse of some galleries (Corrêa-Neto *et al.*, 1993).*

*Between them, there are two small caves, the Vandinho and Jacinto Lage caves, which are located between the sinkhole of Bromélias Cave and the Martimiano II cave spring, 30 meters from the main PEIB road. At the end of the Vandinho Cave, there is a small perennial stream.*

## MATERIALS AND METHODS

### **Comparative analysis of physicochemical and hydrochemical parameters**

*The physicochemical and hydrochemical water analysis collection points were previously selected based on the detailed hydrogeological information obtained from the topographic maps. Based on this pre-selection, the field stage confirmed the location criteria, the contribution of external and intermittent sources, as well as the stream flow and perennality. As a result, 11 sampling points were selected (Figure 3), 4 of which were in the Martimiano II Cave and 7 in the Bromélias Cave.*

**Gruta das Bromélias**

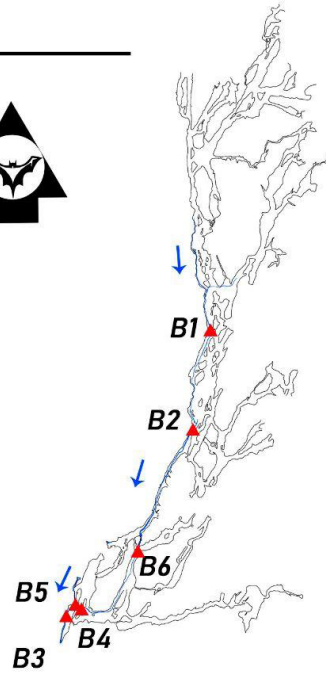
**B1**



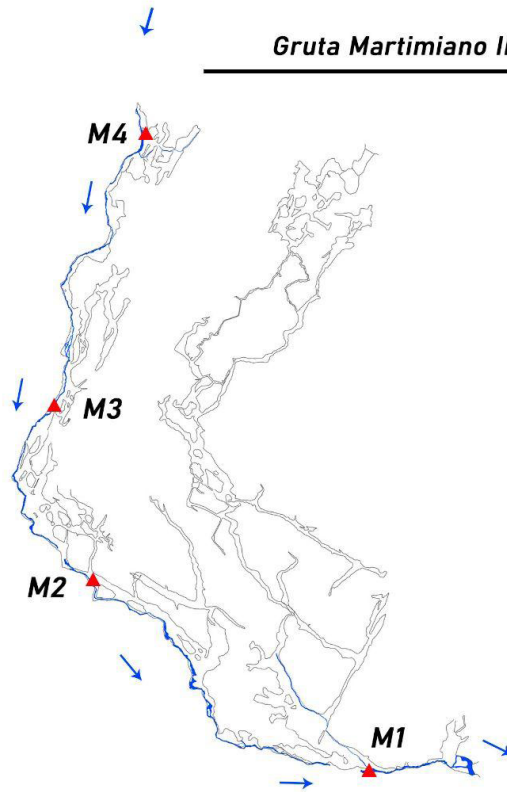
**M2**



**M1**



**Gruta Martimiano II**



**Figura 3** – Pontos de amostragem hidrogeoquímicas nas grutas Bromélias e Martimiano II.

**Figure 3** – Hydrogeochemical sampling points in the Bromélias and Martimiano II caves.

Foram realizadas análises dos parâmetros físico-químicos em todos os pontos amostrados tanto no período de seca (setembro de 2021) quanto no período da chuva (março de

*Physicochemical parameters were analyzed at all the sampling points during both the dry (September 2021) and rainy season (March 2022). For these analyses, the Myron L Company Ultrameter II™*

2022). Para essas análises foi utilizado o multiparâmetro Myron L Company modelo Ultrameter II™, que concede informações rápidas e precisas quanto ao potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (COND), resistividade (RES), temperatura (T), potencial de oxirredução (ORP) e sólidos totais dissolvidos (TDS).

Para as análises hidroquímicas laboratoriais de elementos maiores e menores foram utilizados os equipamentos do laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, através do ICP-OES "Agilent 725" (espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente).

O procedimento de coleta de água seguiu o padrão apresentado pelo CETESB (1998), para transporte e preservação das amostras. Todas as amostras foram pré-filtradas utilizando seringa e filtro com membrana de 0,45 µm de acetato de celulose e acondicionadas em frascos de polietileno de 30 ml. Para cada ponto foram coletados dois frascos, um deles para a análise dos elementos maiores, menores e traços, que foi acidificado com ácido nítrico ultrapuro (HNO<sub>3</sub> – pH < 2), para estabilização dos metais dissolvidos e um outro frasco que não foi acidificado para a análise da Sílica (SiO<sub>2</sub>). Após a amostragem todos os frascos foram armazenados de forma a ficarem refrigerados por temperatura inferior a 4 °C.

Estes dados foram usados para comparar a diferença entre os fluxos hídricos dentro de algumas cavidades do PEIB (grutas Martimiano II, Bromélias, Manequim e Casas), levando em consideração os parâmetros físico-químicos e a ocorrência dos principais elementos dissolvidos nas águas.

*multiparameter was used. It provides quick and accurate information on hydrogen potential (pH), electrical conductivity (COND), resistivity (RES), temperature (T), oxidation reduction potential (ORP) and total dissolved solids (TDS).*

*For the laboratorial hydrochemical analysis of major and minor elements, the equipment of the Federal University of Ouro Preto's Geology Department Geochemistry laboratory was used, using the ICP-OES "Agilent 725" (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry).*

*The water collection procedure followed the CETESB (1998) standard for the transportation and preservation of samples. All the samples were pre-filtered using a syringe and filter with a 0.45 µm cellulose acetate membrane and packed in 30 ml polyethylene bottles. Two bottles were collected from each point, one for the analysis of major, minor and trace elements, which was acidified with ultrapure nitric acid (HNO<sub>3</sub> – pH < 2), to stabilize the dissolved metals, and another bottle that was not acidified for the analysis of Silica (SiO<sub>2</sub>). After sampling, all the vials were stored and refrigerated at a temperature below 4 °C.*

*This data was used to compare the difference between the water flows within some of the PEIB caves (Martimiano II, Bromélias, Manequim and Casas caves), taking into account the physical-chemical parameters and the occurrence of the main dissolved elements in the water.*

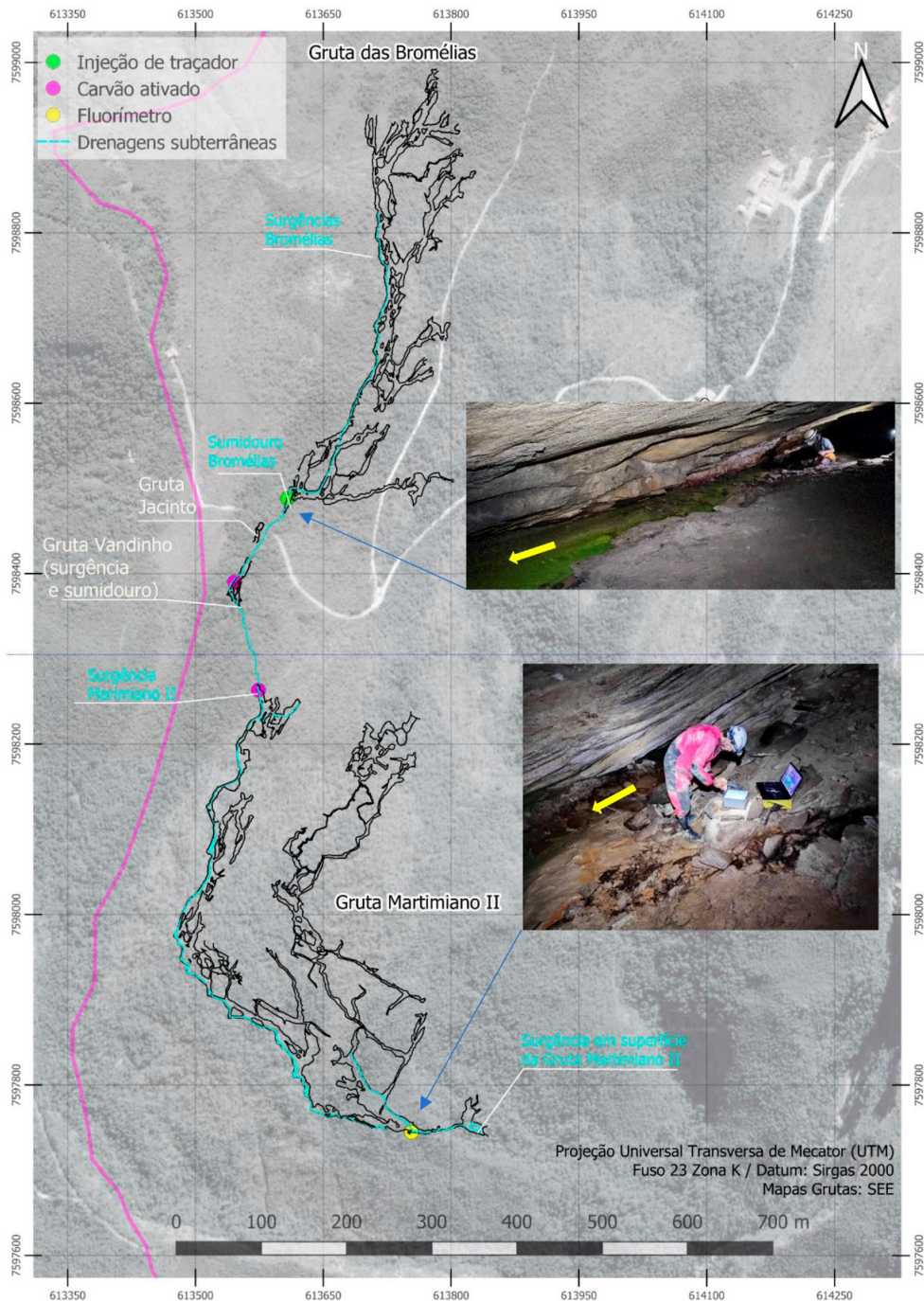


## Traçadores fluorescentes

Para a injeção e detecção dos traçadores foram definidos 4 pontos, sendo 1 de injeção e 3 de detecção. A injeção foi realizada no sumidouro da Gruta das Bromélias e a detecção nas surgências da Gruta Vandinho e da Gruta Martimiano II (Figura 4).

## Fluorescent tracers

Four points were defined for the tracers injection and detection, one for injection and three for detection. Injection was carried out in the Bromélias Cave sinkhole and detection in the the Vandinho and Martimiano II Cave springs (Figure 4).



**Figura 4** – Mapa das grutas Bromélias, Vandinho e Martimiano II com os respectivos pontos de injeção e detecção.

**Figure 4** – Bromélias, Vandinho and Martimiano II caves map, with the respective injection and detection points.

Com os pontos de injeção e detecção selecionados a pesquisa com os traçadores seguiu as seguintes etapas: (i) injeção dos traçadores; (ii) aquisição dos dados ao longo de 17 horas; e (iii) análise dos dados e interpretação dos resultados.

O traçador utilizado para o teste nas Grutas Bromélias e Martimiano II foi a fluoresceína sódica, composto químico amplamente utilizado para tais finalidades e atóxicos nas concentrações adotadas (Aley e Fletcher, 1976).

Nos pontos de detecção, foram realizados dois tipos de amostragem de água: 1) via carvão ativado (detectores estáticos – fluocaptadores), que foram colocados nos pontos estratégicos e instalados de forma a permanecerem junto às zonas de fluxo. Este carvão ativado absorve a fluoresceína e foi submetido à análise no espectrofluorímetro de bancada, nas dependências do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG); 2) via análises in loco, com fluorímetros de campo, para se obter curvas de restituição para análise quantitativa. O fluorímetro usado de modelo GGUN-FL30 (modelos 1650) foi instalado no ponto próximo à segunda entrada da Gruta Martimiano II, por questões logísticas de equipamentos e a dificuldade que a gruta impõe a partir deste trecho (Figura 6) (Schneegg, 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Comparação hidroquímica

As duas cavernas possuem condutos com drenagens que percorrem os condutos no limite oeste, entre os pontos de coleta B1-M1 (Figura 5), zonas de recarga que se restringem aos

*With the injection and detection points selected, the tracer research followed the following steps: (i) tracer injection; (ii) data acquisition over 17 hours; and (iii) data analysis and interpretation of the results.*

*The tracer used for the Bromélias and Martimiano II Caves test was sodium fluorescein, a chemical compound widely used for such purposes and non-toxic at the adopted concentrations (Aley and Fletcher, 1976).*

*Two types of water sampling were carried out at the detection points: 1) via activated carbon (static detectors - fluocaptors), which were placed at strategic points and installed so that they remained close to the flow zones. This activated carbon absorbs the fluorescein and it was subjected to analysis in a bench spectrofluorimeter in the Federal University of Minas Gerais (IGC-UFMG) Geosciences Institute premises; 2) via on-site analysis with field fluorimeters to obtain restitution curves for quantitative analysis. The GGUN-FL30 (model 1650) fluorimeter model used was installed near the second entrance point to Martimiano II Cave, for equipment logistical reasons and the difficulty that the cave imposes from this point (Figure 6) (Schneegg, 2002).*

## RESULTS AND DISCUSSIONS

### Hydrochemical comparison

*The two caves have conduits with streams that run along the western edge, between collection points B1-M1 (Figure 5), recharge zones that are restricted to the entrances surroundings (entrances and karst*

entornos das entradas (bocas e claraboias) e em alguns pontos surgem pequenos fluxos em meio aos sedimentos inconsolidados do chão e em canalículos nas paredes.

A temperatura das águas é menor em B1, próximo das entradas e no começo da drenagem, aumenta 1,5 °C na seca e 1,2 °C na chuva até chegar em M1. Em relação ao pH também observou um leve aumento (+0,3/+0,4), tanto na seca quanto na chuva à jusante do fluxo.

As águas das duas cavidades contêm Ca, Na e Si como elementos maiores de maior concentração, conforme apresentado na Tabela 2. Em relação aos elementos menores, o Al é o que se mostra com as maiores concentrações, embora não apresente uma relação espacial de aumento com o sentido do fluxo.

As concentrações de SiO<sub>2</sub> dissolvida nas amostras variam de 1,89 mg/L a 2,69 mg/L no período de seca e de 1,67 mg/L a 2,21 mg/L no período de chuva. Observa-se um aumento na concentração de SiO<sub>2</sub> ao longo do curso de montante para jusante (B1/M1), e algumas variações entre esses os pontos também são observadas.

Além disso, no sistema Bromélias-Martimiano II a alta velocidade do fluxo (430 m/h), ocasionado pelo alto gradiente hidráulico deste sistema (Correa-Neto, 1997), faz com que a água permaneça pouco tempo em contato com a rocha o que explica as menores concentrações dos íons dissolvidos. O aumento na concentração dos íons ao longo do fluxo pode estar relacionado ao maior tempo de interação da água-rocha, já que é um fluxo subterrâneo extenso, com aproximadamente 1400 m, e com contribuição de outros afluentes ao longo do percurso.

*windows). In addition, at some points, small flows appear amidst the unconsolidated sediments on the floor and in the walls channels.*

*The water temperature is lowest at B1, near the entrances and at the drainage start, increasing by 1.5 °C in the dry season and 1.2 °C in the rainy season until it reaches M1. There was also a slight increase in pH (+0.3/+0.4), both during dry and rainy season downstream of the flow.*

*The two caves water contain Ca, Na and Si as the most concentrated major elements, as shown in Table 2. Regarding the minor elements, Al is the one with the highest concentrations, although it does not show a spatial relationship of increase with the direction of flow.*

*The concentrations of dissolved SiO<sub>2</sub> in the samples vary from 1.89 mg/L to 2.69 mg/L during the dry season and from 1.67 mg/L to 2.21 mg/L during the rainy season. There is an increase in SiO<sub>2</sub> concentration along the water course from upstream to downstream (B1/M1), and some variations between these points are also observed.*

*Furthermore, in the Bromélias-Martimiano II system, the high flow velocity (430 m/h), caused by the high hydraulic gradient of this system (Correa-Neto, 1997), means that the water remains in contact with the rock for a short time, which explains the lower concentrations of dissolved ions. The increase in ion concentration over the course of the flow may be related to the longer interaction time between water and rock, since it is an extensive underground flow, approximately 1400 m long, with contributions from other tributaries along the way.*



Estes sistemas estão sob forte influência das águas meteóricas, que recarregam o sistema cárstico pela infiltração na rocha e pelas dolinas e entradas das cavidades, caracterizando uma recarga predominantemente autogênica. Nos períodos chuvosos, com a maior infiltração e o aumento da vazão, ocorre a diluição dos íons nas águas, o que é observado pela menor concentração destes elementos em relação ao período de estiagem (Tabela 1). Portanto, pode-se afirmar que são sistemas abertos com forte interação com os processos atmosféricos. A semelhança das concentrações dos íons e dos parâmetros físico-químicos nas duas cavidades, principalmente entre os pontos B3 (sumidouro da Bromélias) e M4 (surgência da Martimiano II), indica se tratar do mesmo fluxo hídrico, o que valida a existência da conexão hídrica deste sistema.

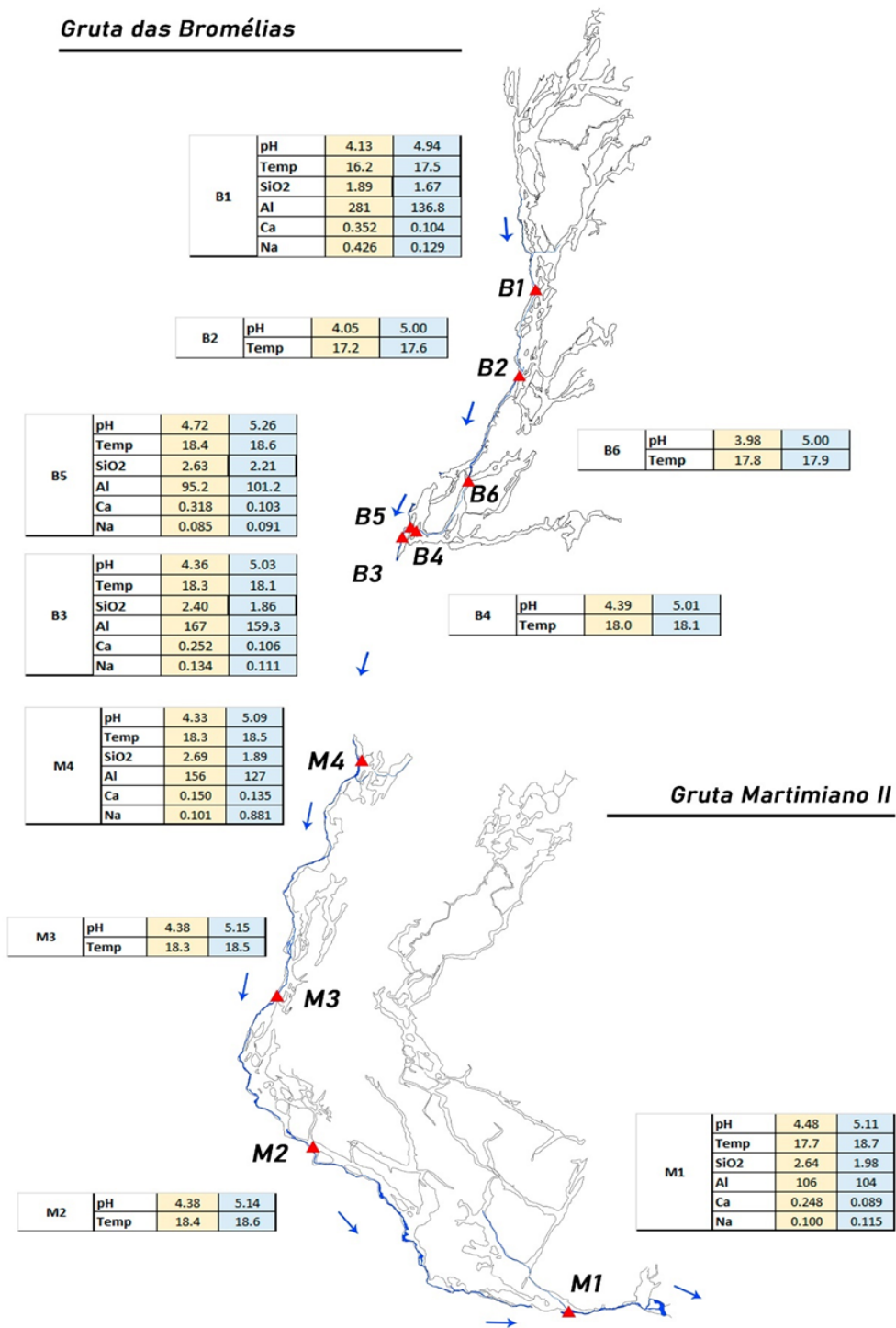
**Tabela 1** – Parâmetros físico-químicos e principais cátions encontrados dissolvidos nas amostras dos pontos no sentido do fluxo. Ba, Sr, Zn, Al estão expressos em microgramas por litro e os demais em miligramas por litro.

*These systems are strongly influenced by meteoric waters, which recharge the karst system through the rock infiltration and through the dolines and cave entrances, characterizing a predominantly autogenic recharge. In the rainy season, with greater infiltration and increased flow, the ions in the water are diluted, which can be seen in the lower concentration of these elements compared to the dry season (Table 1). Therefore, it can be said that these are open systems with strong interaction with atmospheric processes. The similarity of the ion concentrations and physical-chemical parameters in the two caves, especially between points B3 (Bromélias sinkhole) and M4 (Martimiano II spring), indicates that they are the same water flow, which validates the existence of a water connection in this system.*

**Table 1** – Physico-chemical parameters and main cations found dissolved in the samples from the points in the flow direction. Ba, Sr, Zn, Al are expressed in micrograms per liter and the others in milligrams per liter.

ID	pH	Temp.	CE	Ba	Sr	Zn	Al	Ca	Na	S	Si	SiO <sub>2</sub>
<b>B1</b>	4.13	16.2	11.8	1.87	0.796	10.6	281	0.352	0.426	0.391	0.881	1.89
	4.94	17.5	9.5	0.62	0.559	-	136.76	0.104	0.129	-	0.78	1.67
<b>B5</b>	4.72	18.4	5.6	1.65	0.522	6.82	95.2	0.318	0.085	-	1.23	2.63
	5.26	18.6	5.1	01.07	0.366	-	101.22	0.103	0.091	-	1.03	2.21
<b>B3</b>	4.36	18.3	14.2	2.36	0.462	10.5	167	0.252	0.134	0.122	1.12	2.40
	05.03	18.01	10.2	01.06	0.439	-	159.35	0.106	0.111	-	0.87	1.86
<b>M4</b>	4.33	18.3	11.2	2.57	0.590	-	156	0.150	0.101	-	1.26	2.69
	05.09	18.05	8.3	0.99	0.512	-	126.99	0.135	0.124	-	0.88	1.89

ID	pH	Temp.	CE	Ba	Sr	Zn	Al	Ca	Na	S	Si	SiO <sub>2</sub>
M1	4.48	17.7	9.6	2.23	0.543	8.98	106	0.248	0.100	-	1.23	2.64
	5.11	18.7	6.9	0.89	0.440	-	103.91	0.089	0.115	-	0.92	1.98
LQ*	-	-	-	0.48	0.294	6.21	10.9	0.0217	0.048	0.115	0.0951	-



**Figura 5** – Distribuição espacial dos pontos e dos dados hidroquímicos ao longo do sistema Bromélias-Martimiano II.

**Figure 5** – Spatial distribution of collection points and hydrochemical data along the Bromélias-Martimiano II cave system.

## Fluxos subterrâneos e testes de traçadores

A análise qualitativa realizada por meio dos carvões ativado constatou inicialmente a conexão hidráulica entre o sistema Bromélias-Vandinho-Martimiano II. Os valores de concentrações foram 80,7 µg/L para a ressurgência da Vandinho (Fig. 8b) e 40,1 µg/L para ressurgência da Martimiano II (Fig. 8a). Essa constatação valida a hipótese de conexão entre as duas (Bromélias e Martimiano II) cavidades obtidas pelo método de hidroquímica. A análise qualitativa fornece apenas a confirmação da conexão hidráulica, por isso foi realizado uma análise quantitativa para obter as informações a respeito do fluxo deste sistema.

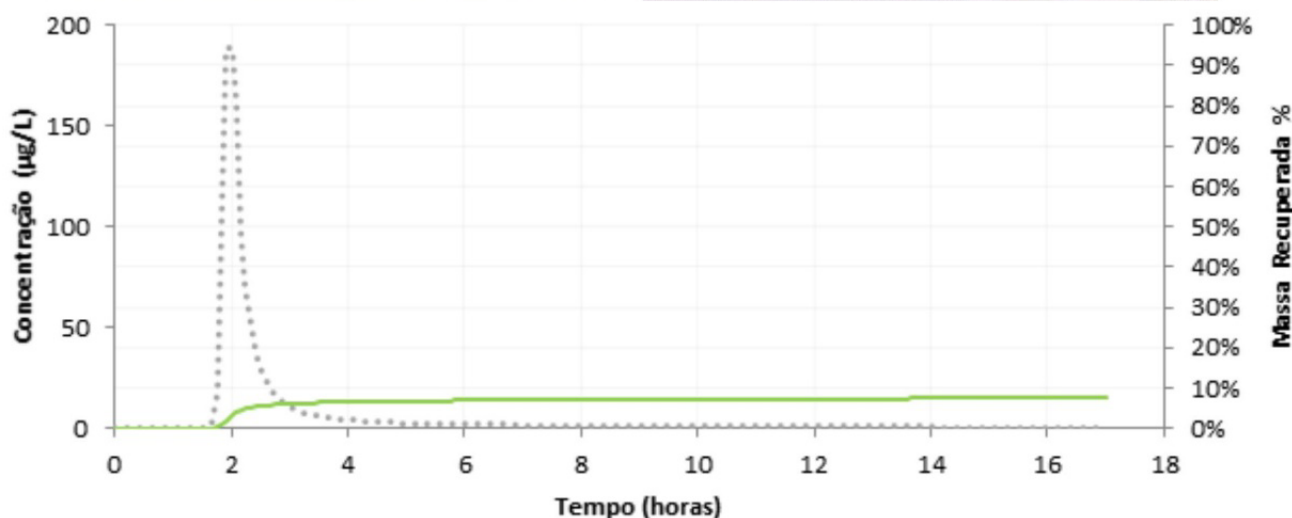
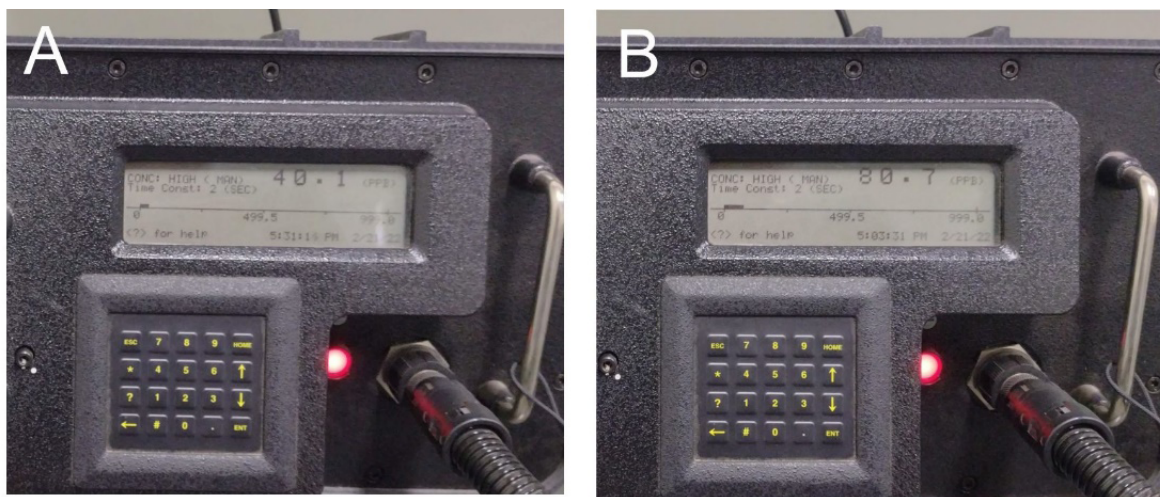
Na análise quantitativa foi possível estimar os parâmetros da curva de restituição e fluxo, sendo eles: a concentração de pico ( $C_p$ ) = 189,15 µg/L, tempo de chegada ( $t_1$ ) = 1,5 h, tempo de pico ( $t_p$ ) = 2 h, massa recuperada ( $R$ ) = 7%, tempo médio de trânsito ( $t_m$ ) = 3h e velocidade média do fluxo = 0,12 m/s (Fig. 8 - Gráfico). A partir destes resultados é possível afirmar que o sistema é bem hidrodinâmico e altamente conectado, devido ao alto gradiente que existentes entre as duas cavidades.

## Underground flows and tracer tests

*The qualitative analysis carried out using activated carbon initially showed a hydraulic connection between the Bromélias-Vandinho-Martimiano II cave system. The concentration values were 80,7 µg/L for the Vandinho spring (Fig. 8b) and 40.1 µg/L for the Martimiano II spring (Fig. 8a). This finding validates the hypothesis of a connection between the two (Bromélias and Martimiano II) caves obtained by the hydrochemical method. The qualitative analysis only provides confirmation of the hydraulic connection, so a quantitative analysis was carried out to obtain information on this system's flow.*

*In the quantitative analysis, it was possible to estimate the parameters of the restitution and flow curve, which are: peak concentration ( $P_c$ ) = 189.15 µg/L, arrival time ( $t_1$ ) = 1.5 h, peak time ( $p_t$ ) = 2 h, recovered mass ( $R$ ) = 7%, average transit time ( $t_m$ ) = 3h and average flow velocity = 0.12 m/s (Fig. 8 - Graph). Based on these results, it can be said that the system is well hydrodynamic and highly connected, due to the high gradient that exists between the two caves.*





**Figura 8** – A) Valor de concentração de fluoresceína no ressurgência da Gruta Vandinho. B) Valor de concentração de fluoresceína na ressurgência da Gruta Martimiano II. Abaixo destaca-se a curva de restituição do traçador e de massa recuperada do traçador pelo fluorímetro.

**Figure 8** – A) Fluorescein concentration value in the Vandinho Cave spring. B) Fluorescein concentration value in the Martimiano II Cave spring. Below is the tracer restitution curve and the mass recovered from the tracer by the fluorimeter.

## CONCLUSÕES

Os dados apresentados caracterizam em geral a hidroquímica das grutas Bromélias e Martimiano II na Serra do Ibitipoca. Este levantamento é fundamental para compreender não só a hidrogeoquímica e a conexão das cavidades, mas também para compreender a espeleogênese na Serra do Ibitipoca como um todo.

## CONCLUSIONS

The presented data generally characterizes the Bromélias and Martimiano II caves hydrochemistry in the Ibitipoca mountain range. This survey is fundamental for understanding not only the hydrogeochemistry and connection of the caves, but also for understanding speleogenesis in the mountain range as a whole.

As análises dos parâmetros hidroquímicos e físico-químicos mostraram a semelhança entre os pontos B3 e M4, essa semelhança é um forte indício da conexão hídrica das duas cavidades. Os testes realizados com os traçadores, por sua vez, apresentam dados quantitativos e precisos em relação a essa conexão, que, juntamente com os demais dados comprovam a existência do maior sistema de cavernas quartzíticas do Brasil, o sistema Bromélias-Martimiano II, com aproximadamente 7,5 km de condutos subterrâneos.

A comprovação da existência desse grande sistema não apenas contribui para o melhor entendimento acerca das cavernas e da espeleogênese das grutas quartzíticas do PEIB, mas também para o entendimento da área de influência e as ações que devem ser tomadas para a preservação dessas cavidades e consequentemente da manutenção dos sistemas hídricos subterrâneos.

A existência de outras cavidades quartzíticas em toda a Província Espeleológica Andrelândia (PEA) e com feições semelhantes a essas apresentadas, indicam que outros sistemas hídricos possam ocorrer nas demais regiões da província.

Sugere-se que sejam feitas as análises hidroquímicas e com traçadores dos demais sistemas e cavidades do PEIB, levando em consideração a medição das vazões e dos ânions, que foram limitações deste trabalho. Além disso, outros sistemas hídricos dentro dos limites do PEIB, possivelmente tem relação e conectividade, mas que carecem de mais estudos, como o possível sistema Coelhos/Casas/Rasteirinha.

*The hydrochemical and physicochemical parameters analysis showed similarities between points B3 and M4, which is a strong indication of the water connection between the two caves. On the other hand the tracers tests carried out provide quantitative and precise data regarding this connection, which, along with the other data, prove the existence of the largest quartzite cave system in Brazil, the Bromélias-Martimiano II cave system, with approximately 7.5 km of underground conduits.*

*Proving the existence of this large system not only contributes to a better understanding of the PEIB quartzite caves and its speleogenesis, but also to an understanding of the influence area and the actions that should be taken to preserve these caves and consequently the maintenance of underground water systems.*

*The existence of other quartzite caves throughout the Andrelândia Speleological Province and with similar features to those presented, indicate that other water systems may occur in other regions of the province.*

*It is suggested that hydrochemical and tracer analyses be carried out on the other systems and caves in the PEIB, taking into account the flows and anions measurements, which were limitations of this work. In addition, other water systems within the PEIB boundaries are possibly related and connected, but need further study, such as the possible Coelhos/Casas/Rasteirinha cave system.*

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS / BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

AGUIAR, Bruno Fernandes. Geoespeleologia da Gruta Martimiano II - Parque Estadual do Ibitipoca - Santa Rita de Ibitipoca - MG. 2019.

ALEY, T.; FLETCHER, Mickey W. The water tracer's cookbook. *Missouri Speleology*, 1976, 16.3: 1-32.

AUBRECHT, R., LÁNCZOS, T., GREGOR, M., SCHLÖGL, J., ŠMÍDA, B., BREWER-CARÍAS, C., VLČEK, L., 2011. Sandstone caves on Venezuelan Tepuis: return to pseudokarst? *Geomorphology* 132, 351–365.

AULER, A. S., & SAURO, F. (2019). Quartzite and quartz sandstone caves of South America. in *encyclopedia of caves* (pp. 850-860). Academic press.

AULER, Augusto S.; MEUS, Philippe; PESSOA, Paulo FP. Water Tracing Experiments in Low-pH Quartzite Karst Water, Chapada Diamantina, Northeastern Brazil. In: *Eurokarst 2018, Besançon: Advances in the Hydrogeology of Karst and Carbonate Reservoirs*. Springer International Publishing, 2020. p. 183-191.

BENISCHKE R. 2021. Advances in the methodology and application of tracing in karst aquifers. *Hydrogeology Journal*, 29(1), 67-88.

BENTO, L. C. M., TRAVASSOS, L. E. P., & RODRIGUES, S. C. (2015). Considerações sobre as cavernas quartzíticas do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. *Caminhos de Geografia*, 16(54).

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 1998. *Sampling and water samples preservation guide*. São Paulo, 150 p.

CORRÊA NETO, A.V., FILHO, J.B., 1997. Espeleogênese em quartzitos da Serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. *anu. Inst. Geocienc.* 20, 75–87.

CORRÊA NETO, A.V.; ANÍSIO, L.C.C.; BRANDÃO, C.P. 1993. Um endocarste quartzítico na Serra do Ibitipoca, SE de Minas Gerais. *Anais VII Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, p. 83-86.

CORRÊA NETO, A.V.; ANÍSIO, L.C.C.; BRANDÃO, C.P.; CINTRA, H.B. 1997. Gruta das Bromélias (mg-042), Serra do Ibitipoca, município de Lima Duarte, MG: Uma das maiores cavernas em quartzito do mundo. *Espeleo-Tema* 18: 1-12.

CORRÊA NETO, A.V.; DUTRA, G. 1997. A Província Espeleológica Quartzítica Andrelândia, sudeste de Minas Gerais. *Anais XXIV Congresso Brasileiro de Espeleologia*, p. 57-64.

FABRI, F. P., AULER, A., & AUGUSTIN, C. H. R. R. (2014). Relevo cárstico em rochas siliciclásticas: uma revisão com base na literatura. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15(3).

- FIELD M. S. 2002. The QTRACER2 program for tracer-breakthrough curve analysis for tracer tests in karstic aquifers and other hydrologic systems. National Center for Environmental Assessment--Washington Office, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- FORD D. & WILLIAMS P. 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. McMaster University, Canada; University of Auckland, New Zealand. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England 1, 5p.
- GOLDSCHIEDER N. & DREW D. 2007. Methods in Karst Hydrogeology. Taylor & Francis. International Contributions to Hydrogeology, 9, 19, 65, 123; 130p.
- HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A.C., CAMPOS NETO, M.C., SILVA, L.C., TROUW, R.A.J., JANASI, V.C., 2004. A província Mantiqueira. in: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro,
- KASS W. 1998. Tracing technique in geohydrology. Taylor & Francis. Netherlands.
- LEIBUNDGUT A. C., MALOSZEWSKI P., KÜLLS C. 2009. Tracers in hydrology. Wiley-Blackwell.
- LIMA, P. E. S., LOUREIRO, F. T., SILVA, P. H. A., LACERDA, S. G., BERNARDES, V. H. R., VIEIRA, F. F. & CONSTÂNCIO-JUNIOR, C. P. (2017). Caracterização geoespeleológica preliminar da Gruta Martimiano II, Santa Rita de Ibitipoca-MG. in Congresso Brasileiro de Espeleologia (vol. 34, pp. 253-259).
- MARTINI, J.E.J., 1982. Karst in black reef and Wollenberg group quartzite of the eastern Transvaal escarpment. Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología 10, 99-114.
- OLIVEIRA, Gabriel Lourenço Carvalho de. Processos hidrogeoquímicos como gatilho para a espeleogênese no setor sudoeste do Parque Estadual do Ibitipoca-MG. 2022.
- PACIULLO, F.V.P., TROUW, R.A.J., RIBEIRO, A., 2003a. Geologia da Folha Andrelândia. in: Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Trouw, R.A.J., Heilbron, M. (eds.), Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro, vol. 1. Projeto Sul de Minas, pp. 84-120.
- PALMER A. N. 2007. Cave Geology. Dayton, OH: Cave Books. 454p.
- PEREZ R.C.; GROSSI, W.R. 1986. The Quartzitic Speleological District of the Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brazil. Anales do IX Congreso Internacional de Espeleologia 2:12-14.
- PINTO, C.P.; GROSSI-SAD, J.H. 1991 Sinopse da geologia regional. in: Programa Levantamentos Geológicos Do Brasil. Texto explicativo da Folha SF.23.X-C-VI Lima Duarte (Pinto, C.P. Org.) DNPM/CPRM.
- RIBAS, G. P., LIMA, P. E. S., LACERDA, S. G., RIOS, V. H., GUERRA, C., & COSTA, B. D. Geoespeleologia da Gruta Manequinho-Parque Estadual do Ibitipoca-PEI, Santa Rita De Ibitipoca, MG.
- RODELA, L. G., & TARIFA, J. R. (2002). The climate of Serra do Ibitipoca, southeast of Minas Gerais state. GEOUSP Espaço E Tempo (online), 6(1), 101-113.



RODELA, L.G. Distribuição de campos rupestres e cerrados de altitude na Serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. Dissertação de mestrado. São Paulo. Departamento de Geografia - FFLCH - USP / FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. 205p., 2000a.

RUBBIOLI, E., AULER, A., MENIN, D., & BRANDI, R. (2019). Cavernas-atlas do Brasil subterrâneo. Brasília, ICMBio/CECAV. 370p.

SCHNEGG, P. A. An inexpensive field fluorometer for hydrogeological tracer tests with three tracers and turbidity measurement. In: Articles of the Geomagnetism Group at the University of Neuchâtel, Groundwater and Human Development. Neuchâtel. p. 1484-1488, 2002.

SILVA, S.M. Carstificação em rochas siliciclásticas: estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais. MG. 2004. 143f. Dissertação de mestrado em geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, BH-MG.

TEIXEIRA-SILVA, C. M., PIRES, L. O., CONSTÂNCIO-JUNIOR, C. P., & VIEIRA, F. F. (2017). Geoespeleologia da Gruta das Casas-Parque Estadual do Ibitipoca-PEI, sudeste de Minas Gerais. in Congresso Brasileiro de Espeleologia (vol. 34, pp. 381-394).