

**ANÁLISE PRELIMINAR DE QUALIDADE DO AR E CONDIÇÕES  
MICROCLIMÁTICAS DA LAPA DO SUFOCO, SÃO DESIDÉRIO (BA)**  
*PRELIMINARY ANALYSIS OF AIR QUALITY AND MICROCLIMATIC CONDITIONS IN THE LAPA DO  
SUFOCO, SÃO DESIDÉRIO (BA)*

**Tarcísio Erundino Silva, Caio Aragão de Jesus, Fernanda Martins da Silva Leão,  
Patrícia de Santana Moro & Leonardo Morato**

Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal da Bahia  
(ICADS/UFBA).

Contatos: [taerundino@hotmail.com](mailto:taerundino@hotmail.com); [caio.aragao@ymail.com](mailto:caio.aragao@ymail.com); [gepaleo@yahoo.com.br](mailto:gepaleo@yahoo.com.br).

### Resumo

O presente artigo apresenta um estudo preliminar na caverna SD-32, denominada aqui de Lapa do Sufoco, enfatizando as condições microclimáticas e de qualidade do ar, com medições de temperatura, umidade relativa do ar, concentração de dióxido de carbono e oxigênio em diferentes pontos da cavidade. Mesmo com dimensões modestas, foram constatadas na Lapa do Sufoco reduções na concentração de oxigênio a partir do salão de entrada, atingindo um mínimo de 17,2%, enquanto o patamar externo é de 20,9%, e em contrapartida os níveis de CO<sub>2</sub> ficaram acima do limite de registro do aparelho utilizado (superiores a 1%) ao longo de toda a caverna. Sugere-se que a pequena e única entrada conhecida restringe a circulação de ar e deve ser um agravante para esses parâmetros. Sintomas como cefaléia, respiração ofegante, vertigem e até náusea parecem decorrentes da exposição do ser humano às condições apresentadas na caverna. Nota-se também a menor ocupação dessa caverna por morcegos, em comparação a outra cavidade próxima com volume similar; especula-se que a qualidade do ar e a entrada restrita são fatores que podem contribuir para tal redução.

**Palavras-Chave:** Lapa do Sufoco; São Desidério; qualidade do ar; microclima.

### Abstract

*This article presents a preliminary study on cave SD-32, herein called Lapa do Sufoco, emphasizing microclimate conditions and air quality measurements with temperature, relative humidity, concentration of carbon dioxide and oxygen levels at different points of the cavity. Even with its modest dimensions, in the Lapa do Sufoco was detected reduction in oxygen concentration from the entrance hall on, reaching a minimum of 17.2%, while the external level is 20.9%, and in turn CO<sub>2</sub> levels were above the range of the instrument used (over 1%) throughout the cave. It is suggested that the small single known opening restricts airflow and should be an aggravating factor for these parameters. In humans, symptoms such as headaches, shortness of breath, vertigo, and dizziness seem to result from the exposure to the conditions presented in the cave. Noted also was the lesser usage of this cave by bats, as compared to another cavity nearby, with similar volume; it is speculated that air quality and restricted entrance could be factors that contribute to this reduction.*

**Key-words:** Lapa do Sufoco; São Desidério; air quality; foul air; microclimate.

## 1. INTRODUÇÃO

A região oeste do estado da Bahia, no município de São Desidério, apresenta sistemas cársticos de destaque, com cavernas de distintas extensões, formas e ornamentações. Geologicamente, esses sistemas estão incluídos em uma unidade carbonática correlata à Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, modificada por deformações devido a atividades tectônicas ao longo do Ciclo Brasileiro (EGYDIO-SILVA, 1987). Tais depósitos são de caráter transgressivo, formados em

plataformas epicontinentais rasas, prevalecendo uma geometria em rampa, sendo controlada por uma série de fatores durante o Neoproterozoico (IGLESIAS & UHLEIN, 2009).

A caverna identificada pela designação SD-32 em RUBBIOLI (2010) e GALVÃO *et al.* (2012), aqui denominada como Lapa do Sufoco (coordenadas UTM 23L 500.708E/8.632.367N, datum WGS-84), faz parte desse carste. Com uma única entrada estreita e ao nível do solo (Figura 1), em uma área onde não são notados grandes maciços,

essa cavidade apresenta estrutura diferenciada, condicionada por camadas rochosas dobradas bastante arqueadas em seu salão inicial, com fraturas e alguns veios preenchidos por calcita, sendo o principal deles relacionado à morfologia de um conduto retilíneo de direção aproximada N-S.

Incidentes ocorridos nessa caverna com dois visitantes, que depois fariam parte da equipe do presente trabalho, motivaram a ideia da medição da concentração de gases em seu interior. Ao

percorrerem a gruta, um dos visitantes sentiu-se mal, apresentando dores de cabeça, além do outro estar com a respiração ofegante, embora não tivessem percorrido grande distância. A partir disto, houve-se a curiosidade de saber os motivos de tais sintomas, e de início supôs-se que poderiam se relacionar a pouca quantidade de oxigênio e/ou presença de outros gases no local, uma vez que já houve relatos de outras cavernas na região com problemas dessa natureza (ZOGBI, 2004).



**Figura 1** – Fotografias apresentando dois aspectos da Lapa do Sufoco, em São Desidério (BA): à esquerda, detalhe da única abertura conhecida que dá acesso à cavidade; à direita, salão principal, logo após a entrada da caverna, onde se observa a estrutura dobrada das rochas, condicionando a morfologia do conduto.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados três equipamentos (Figuras 2 e 3) para realizar medidas de concentração de gases e condições climáticas no interior da caverna. Inicialmente foram elencados o detector multigases da BW Technologies by Honeywell, modelo GasAlert MicroClip XT (Figura 2), que capta concentrações de O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S e hidrocarbonetos, e o medidor portátil de CO<sub>2</sub> AZ modelo 77535 (Figura 2), que juntamente com as medidas do dióxido de carbono indica a temperatura e umidade relativa do ar. Essas duas últimas variáveis também foram coletadas utilizando-se o termo-higrômetro com registrador TFA Dostmann/Wertheim modelo KlimaLogg Pro 3030.39.0.00 (Figura 3). As especificações referentes a cada equipamento estão listadas nos quadros 1, 2 e 3.

Como iriam ser feitas medidas de condições internas que incluía por exemplo temperatura e umidade, entraram no máximo três componentes da equipe para a coleta dos dados, pois a presença de muitas pessoas poderia interferir no equilíbrio da gruta. Estes portavam capacetes com lanternas de led (uma vez que o uso de carbureteiras pode influenciar significativamente na temperatura de

uma caverna; *vide* SCALEANTE, 2003), além de mochilas com seus devidos equipamentos para a execução das atividades do trabalho.

Inicialmente ligou-se o termo-higrômetro, que foi posicionado na parte central do salão principal, após a entrada da gruta, onde supostamente a influência do meio externo seria maior. Para ter uma maior exatidão, o local central do salão foi definido com auxílio de uma trena a laser Leica Disto A5.

Dando prosseguimento ao trabalho foram utilizados os detectores de gases em diferentes pontos da caverna, incluindo extremos de condutos e depressões. Junto com estas medidas foi feito um esboço da caverna para facilitar a localização dos pontos de coleta quando o mapeamento final fosse executado.

Apenas após o monitoramento retornou-se à gruta para confeccionar seu mapa, a fim de situar os pontos de detecção, e buscar definitivamente o termo-higrômetro. O mapeamento foi realizado com o método de bases flutuantes (*vide* RUBBIOLI & MOURA, 2005), utilizando bússola e clinômetro Brunton modelo Survey Master para medidas de azimute e inclinação, trena métrica de fita para as medidas de distância inclinada, e trena a laser Leica



Disto A5 para as distâncias de vantes e réis e as medidas da altura do piso ao teto. Os dados foram anotados em planilha e o mapa final confeccionado utilizando-se o programa CorelDRAW versão X3.



**Figura 2** – Medidor portátil de CO<sub>2</sub> e detector multigases no salão de entrada da Lapa do Sufoco, durante o levantamento das condições de qualidade do ar da caverna.



**Figura 3** – Termo-higrômetro posicionado no piso do salão de entrada da Lapa do Sufoco.

**Quadro 1** – Características do detector multigases GasAlert MicroClip XT.

Característica	Especificações
Display	Alfanumérico de cristal líquido (LCD)
Escalas de Oxigênio	0 a 30%
Temperatura	-20° a 58° C (-4° a 136° F)
Umidade	0% a 95% UR (sem condensação)
Monóxido de Carbono	0 a 500 ppm
Gás Sulfídrico	0 a 100 ppm
Alarmes	Baixo, alto, STEL e TWA (95 dB)

**Quadro 2** – Características do medidor portátil de CO<sub>2</sub> modelo 77535.

Característica	Especificações
Display	Cristal líquido (LCD) com iluminação.
Variações	0 a 2000ppm e 2001 a 9999ppm
Temperatura	-10° a 60° C (14° a 140° K)
Umidade	0% a 99,9% UR
Resolução	1ppm (concentração de CO <sub>2</sub> ), 0,1° C/K (temperatura)
Precisão	±50ppm(±5%) da leitura (CO <sub>2</sub> ) (0 a 2000ppm) ±0.6° (±0.9°K), ±3% UR (25°, 10 a 90%) ±5% para escala UR
Alarme sonoro	30 dB
Sensoriamento	CO <sub>2</sub> – NDIR sensor, Umidade – rotronic capacitor type

**Quadro 3** – Características do termo-higrômetro KlimaLogg Pro 3030.39.0.00.

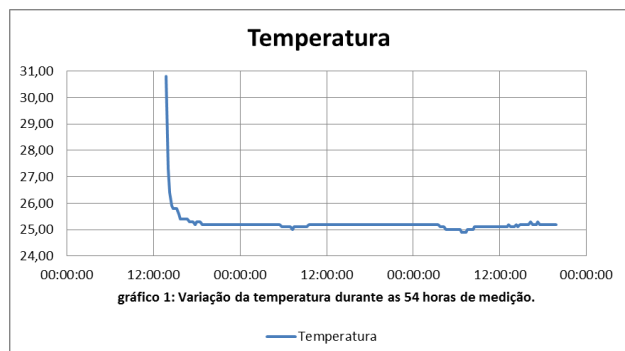
Característica	Especificações
Display	Alfanumérico de cristal líquido (LCD)
Temperatura	0° a 50° C (32° a 152° F)
Umidade	1% - 99% UR
Resolução	0,1° C (0,2° F) (temperatura), 1% UR (umidade)
Precisão	±1° C/F (temperatura), ±5% UR (umidade)
Intervalo de verificação interna	15s
Máximo de conjunto de dados	50.000

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

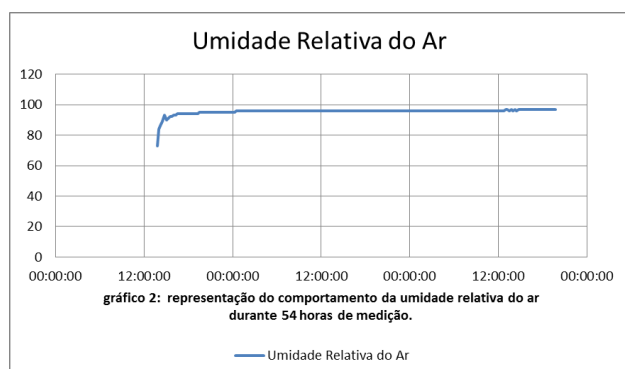
O mapeamento da Lapa do Sufoco registra suas dimensões modestas, com um desenvolvimento horizontal de 135m, e desnível de -11m, com somente uma entrada estreita, limitada para o acesso e possivelmente para as trocas atmosféricas com o meio externo. No interior da cavidade foram efetuadas apenas as medidas de temperatura, umidade relativa do ar, níveis de oxigênio e de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Os índices de CO, H<sub>2</sub>S e hidrocarbonetos foram nulos em todos os pontos de medição realizados.

O termo-higrômetro com registrador acabou sendo mantido na gruta por 54h. Os gráficos das figuras 4 e 5 apresentam as medidas realizadas a partir do dia 14/05/2013 às 13h45min, que se estenderam até o dia 16/05/2013, às 19h45min.

Neles estão representados os valores da variação da temperatura e umidade relativa do ar, obtidos por esse aparelho, sendo importante salientar que o primeiro valor de ambos, efetuado às 13h45min, foi tomado no exterior da caverna, próximo a sua entrada.



**Figura 4** – Variação da temperatura (° C) na Lapa do Sufoco. O primeiro valor, entretanto, representa as condições no exterior da cavidade, próximo a sua entrada.



**Figura 5** – Variação da umidade relativa do ar (%) na Lapa do Sufoco. O primeiro valor, entretanto, representa as condições no exterior da cavidade, próximo a sua entrada.

Ainda assim, nota-se que a temperatura inicial sofreu uma queda significativa na primeira hora, a partir de valores que não voltaram a ser observados no restante do levantamento. Após esse declínio, houve apenas pequenas variações na temperatura. De forma comparável, as leituras de umidade também observaram um pequeno aumento no intervalo de 13h45min até 16h15min, se mantendo praticamente constantes ao longo do restante do tempo em que o aparelho esteve na gruta.

As causas para esse comportamento dos dados não são compreendidas no momento, e questiona-se se o equipamento teria um tempo longo de adequação ao ambiente, ou se teriam alguma relação com a presença dos membros da equipe na caverna. A manutenção de valores mais estáveis após esse momento inicial poderiam ainda refletir a dificuldade da caverna reencontrar seu equilíbrio,

devido à falta de circulação de ar, mesmo após a saída de uma equipe limitada, o que precisaria ainda ser investigado.

Tanto umidade como temperatura também foram medidas em diferentes pontos da caverna, utilizando o medidor portátil de CO<sub>2</sub>. Os valores de umidade se mantiveram elevados ao longo da caverna, com níveis por volta dos 95%. As medidas de concentração do CO<sub>2</sub>, feitas desde as imediações da entrada da gruta até seus extremos, se mantiveram elevadas também, todas fora da escala do aparelho disponível, ultrapassando os 9.999ppm. É impossível precisar o quão elevados foram esses níveis, dentro da caverna, em princípio. Apenas ao ir para o exterior, logo à frente da entrada, o aparelho chegou a detectar níveis dentro de seu alcance, mas a média ponderada em medições durante 15 minutos (função *short-term exposure limit*, ou STEL, do aparelho) também foi acima da escala, sugerindo apenas que o valor médio nesse ponto estava próximo do limiar de leitura do aparelho, ou seja, próximo de 1%. Ao se afastar da caverna, os valores diminuíram, atingindo concentrações de 1.140ppm (STEL) a cerca de 10m a leste de sua entrada, no limiar entre a mata e uma trilha que circunda as pastagens da fazenda Mamoeiro.

Os valores para oxigênio variaram de acordo com o local em que estavam sendo medidos. No centro do salão de entrada ainda encontravam-se valores normais, em 20,9%, como no exterior. Porém em alguns condutos e reentrâncias os valores diminuíram, chegando a medir até 17,2%. Os valores da temperatura, níveis de oxigênio e CO<sub>2</sub> em diferentes pontos da cavidade estão apresentados na Tabela 1, e a localização dos pontos de leitura está indicada na Figura 6.

Especialmente nos locais onde os valores de oxigênio se encontravam mais baixos, os integrantes da equipe sentiram uma série de desconfortos, desde ficarem ofegantes, até fortes dores de cabeça, tonturas e náuseas, mesmo em jornadas de trabalho que não superaram 5h. Na verdade, sintomas apareceram de forma bastante rápida em alguns visitantes, em questão de minutos, levando-os a voltar ao salão de entrada.

Os menores níveis de O<sub>2</sub> podem estar relacionados às sensações de mal-estar dos visitantes, e a umidade elevada pode ter contribuído para agravar esse efeito. Mas sintomas de hipoxia, em condições atmosféricas normais, geralmente são observados apenas quando as concentrações estão abaixo de 12% (PITKIN, 2002). Entretanto, o CO<sub>2</sub> em altas concentrações também apresenta riscos

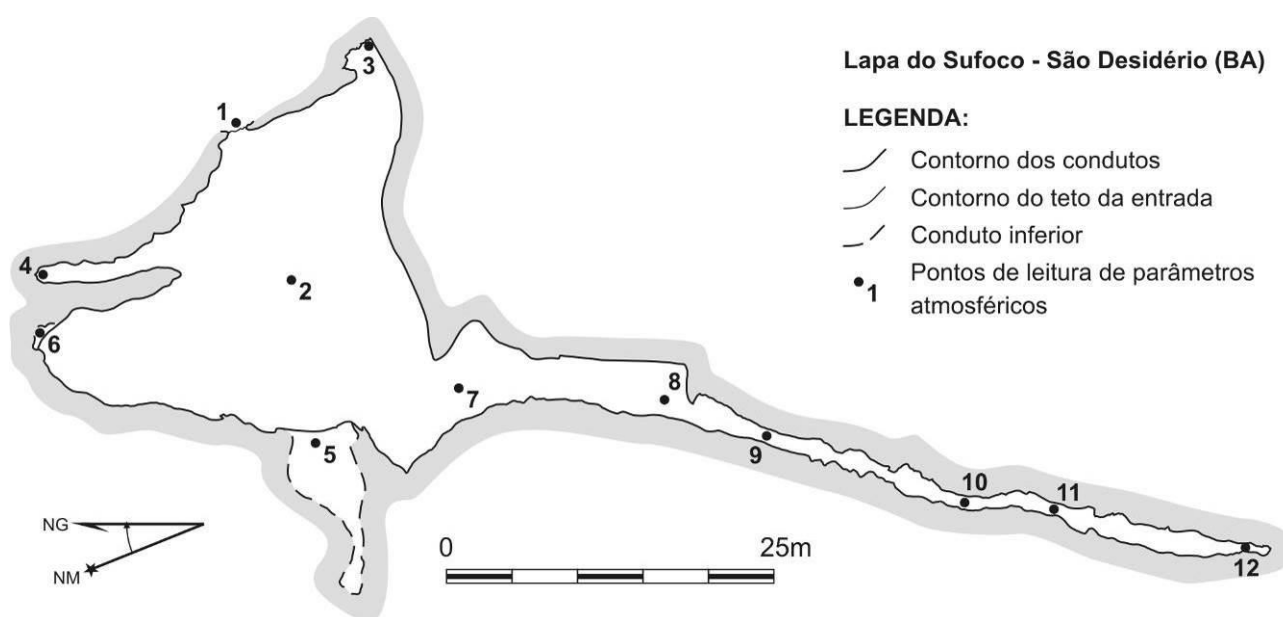
para a saúde humana, até mesmo porque a sua produção advém de um processo de oxidação, o qual, por consequência, diminui a disponibilidade de O<sub>2</sub> no ambiente. Este processo pode ser agravado em cavernas que se constituem como “armadilhas térmicas”, bem como pela disponibilidade de matéria orgânica (BADINO, 2009). PITKIN (2002) atesta que sintomas já aparecem em concentrações maiores que 1%, e exposição a níveis constantes acima de 6% podem levar a perda de consciência,

requisitando assistência imediata. As recomendações normatizadas para diversos países, relacionadas a riscos ocupacionais, contidas no próprio manual do medidor portátil de CO<sub>2</sub>, apontam que queixas de sintomas, como dores de cabeça, fadiga, irritação nos olhos e/ou na garganta, podem ser frequentes durante jornadas de trabalho já a partir de 1.000ppm, e que turnos de trabalho devem ser limitados, quando em condições de concentração superior a 5.000ppm.

**Tabela 1** – Resultados das leituras pontuais para a disponibilidade de O<sub>2</sub>, concentração de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Sufoco, São Desidério (BA).

Ponto	Hora da leitura	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	temperatura média (°C)	Umidade relativa do ar média (%)
1	9:30	20,9	E03*	26,2	91,9
2	9:55	20,9	E03	25,9	93,9
3	10:20	20,9	E03	25,9	95,6
4	10:40	20,9	E03	25,8	96,2
5	11:00	18,6	E03	26,1	97,2
6	11:45	17,3	E03	26,0	96,6
7	11:25	20,9	E03	26,1	96,0
8	12:10	20,9	E03	26,3	96,5
9	12:25	18,4	E03	26,3	96,9
10	12:45	19,4	E03	26,3	97,7
11	13:10	17,2	E03	26,6	94,3
12	13:30	17,2	E03	25,5	97,4

\* Nota: o erro E03 representa valores acima da escala de medição, que vai até 9.999ppm no aparelho utilizado. Dados para o dia 18/05/13.



**Figura 6** – Planta baixa com os contornos dos condutos da Lapa do Sufoco (precisão BCRA 3C), indicando os pontos de leitura de parâmetros atmosféricos ao longo da cavidade. Detalhes de ornamentações e preenchimento da caverna foram omitidos, em favor de clareza.



Essas informações novamente levam a uma preocupação maior sobre quão elevados seriam os valores de CO<sub>2</sub> na Lapa do Sufoco, uma vez que não puderam ser medidos diretamente. É provável que, devido à natureza dos sintomas, dentro da cavidade, em suas porções mais baixas, esses níveis estejam ao menos em valores até 6%. SMITH (1998) entretanto sustenta que, se supostamente a introdução de CO<sub>2</sub> diluir-se em outros gases, seria necessária uma concentração de cerca de 5% de CO<sub>2</sub> para reduzir a de O<sub>2</sub> em 1%. Esse raciocínio poderia chegar a estimativas de CO<sub>2</sub> em um patamar acima de 15% para os locais onde o oxigênio estava abaixo de 18%. Esses dados parecem alarmantes, se esses níveis se provarem corretos, e mesmo embora PITKIN (2002) afirme que é possível sobreviver por várias horas a níveis de CO<sub>2</sub> entre 15 e 20%, desde que não haja falta de O<sub>2</sub>, é preciso muita cautela ao desenvolver trabalhos nessa cavidade.

Curiosamente, a quantidade de morcegos que habitam essa caverna é limitada, quando comparada a outra cavidade próxima (a Lapa da Manga, também designada SD-33 em RUBBIOLI, 2010), cujas entradas são separadas por uma distância de cerca de 90m, sendo que a Lapa do Sufoco possui zonas afóticas muito mais expressivas, ao longo de quase todo o seu desenvolvimento. Morcegos são mais frequentes no salão de entrada, sendo pouco avistados além do início do conduto retilíneo mais extenso da Lapa do Sufoco, onde foram lidos alguns dos valores mais baixos para O<sub>2</sub>. Esse conduto inclusive é condicionado por uma fratura preenchida que, em sua continuidade para sul, também é observada na Lapa da Manga, onde condiciona outro conduto que concentra uma grande colônia de morcegos.

Embora a Lapa do Sufoco tenha um desenvolvimento linear maior, as duas cavidades apresentam volume similar. Entretanto, a entrada da Lapa da Manga é razoavelmente maior, mais aberta, o que por um lado amplia consideravelmente suas zonas eufóticas e disfóticas, mas permite uma melhor circulação de ar. Um levantamento rápido nessa cavidade não revela nenhum decréscimo na concentração de oxigênio, sempre em 20,9%, enquanto a umidade variou entre 59,4 e 89,1%, e os valores para CO<sub>2</sub> variaram entre 926 e 1.423ppm ao longo da caverna, com uma média (STEL) de 1.353ppm no ponto onde foram lidas as concentrações máximas, em sua porção mais profunda, onde o lençol freático aflora. A exposição do lençol é outra diferença entre essas cavernas, e é

nessa área que a colônia de morcegos parece se concentrar na Lapa da Manga. Isso deve se dar pelo fato dessa também ser uma das poucas áreas da caverna que permanece praticamente afótica durante todo o dia.

Pelo exposto acima, é possível que a qualidade do ar e a entrada estreita sejam fatores que contribuem para explicar a distribuição dos morcegos ao longo da Lapa do Sufoco e sua menor ocupação como um todo nessa caverna, mesmo ela sendo mais afótica e de maiores dimensões lineares. A concentração de morcegos no salão principal faria então sentido, não só por esse se encontrar mais próximo da abertura, mas também porque ele apresenta o teto mais alto, enquanto o conduto retilíneo ao sul da cavidade começa na porção baixa do salão e continua predominantemente descendente, com alturas menores até o teto, e o CO<sub>2</sub> tende exatamente a se acumular nas partes mais baixas de uma caverna.

#### 4. CONCLUSÕES

Os dados preliminares apresentados aqui já indicam que a Lapa do Sufoco destaca-se por possuir condições de qualidade do ar peculiares, especialmente no que se relaciona a umidade relativa e concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, sendo necessário investigar sua influência na ocupação por mamíferos, que concentram-se apenas no salão principal próximo à entrada, e mesmo no desenvolvimento de espeleotemas, devido às maiores pressões de CO<sub>2</sub> (KOWALCZK & FROELICH, 2010). Ao menos, a cavidade não é visitada turisticamente, pelo que se tem notícia, devido ao seu acesso pouco evidente.

As medições foram realizadas em um intervalo curto de tempo, gerando assim dúvidas em relação a algumas variações nos dados, como nos níveis de temperatura e umidade, em que houve uma mudança significativa na primeira hora de realização do trabalho. Também persistem questionamentos a se fazer em relação à origem das concentrações de CO<sub>2</sub>. Portanto, sugere-se a necessidade de trabalhos posteriores, para assim investigar os condicionantes de tais fatores, incluindo monitorar a variação dos parâmetros em um tempo maior de investigação, com menos influência de visitantes, e sob controle da sazonalidade, assim como comparar os valores obtidos na Lapa do Sufoco com os de outras cavidades.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BADINO, G. The legend of carbon dioxide heaviness. **Journal of Cave and Karst Studies**, v.71, n.1, p.100-107, 2009.
- EGYDIO-SILVA, M. **O sistema de dobramentos Rio Preto e suas relações com o Cráton São Francisco**. Tese (Doutorado em Geociências), São Paulo, IGC-Universidade de São Paulo, 95f., 1987.
- GALVÃO, A. L. O.; FERREIRA, C. F.; ROSSATO, R. M.; REINO, J. C. R.; JANSEN, D. C.; VILELA, C. V. Breve descrição do patrimônio espeleológico do município de São Desidério – BA. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v.2, n.1, p.13-28, 2012.
- IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v.39, n.2, p.256-266, 2009.
- KOWALCZK, A. J.; FROELICH, P. N. Cave air ventilation and CO<sub>2</sub> outgassing by radon-222 modeling: How fast do caves breathe? **Earth and Planetary Science Letters**, v.289, n.1-2, p.209-219, 2010.
- PITKIN, A. Caving expeditions. In: WARRELL, D.; ANDERSON, S. (eds.) **Expedition medicine**. London, Profile Books (Royal Geographical Society, with the Institute of British Geographers), 2nd. ed., cap.28, p.317-323, 2002.
- RUBBIOLI, E. L. **Levantamento do patrimônio espeleológico: Licenciamento da BR-135/BA (Trecho Divisa PI/BA – Divisa BA/MG, subtrecho São Desidério – Correntina)**. Relatório (inédito), 59f. (sem figuras), 2010.
- RUBBIOLI, E. L.; MOURA, V. **Mapeamento de cavernas: guia prático**. São Paulo, Redespeleo Brasil, 92p., 2005.
- SCALEANTE, J. A. B. **Avaliação do impacto de atividades turísticas em cavernas**. Dissertação (mestrado). Campinas: UNICAMP, 70f., 2003.
- SMITH, G. K. Non toxic "foul air" can kill. **Rescue Australia**, v.(dez.1998), p.11, 19-20 e 65, 1998.
- ZOGBI, L. Buraco do Agripino: quando o ar faz muita falta! **O Carste**, v.16, n.1, p.24-25, 2004.