

Monitoramento microclimático no manejo espeleoturístico

Heros Lobo¹

Paulo Cesar Boggiani

José Alexandre de Jesus Perinotto

Resumo: O manejo de cavernas para fins turísticos requer detalhados estudos prévios de forma a resguardar a sua conservação. Para tanto, devem ser considerados os diversos aspectos do ambiente cavernícola, dentre os quais são destacados no presente estudo o microclima. Para tanto, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os métodos aplicáveis ao monitoramento ambiental para fins de planejamento turístico. Os resultados e discussões são apresentados na forma de uma proposta sistematizada de metodologia para as pesquisas microclimáticas no manejo espeleoturístico, com detalhamento dos procedimentos de coleta, registro, interpretação e análise dos dados mensuráveis. Ao final, são apresentadas possibilidades de continuidade das pesquisas, com especial menção à integração dos procedimentos ora propostos com os métodos de manejo e capacidade de carga turística.

Palavras-chave: Espeleoturismo; Microclima; Planejamento Turístico; Plano de Manejo Espeleológico.

Introdução

As cavernas são ambientes com características espaciais e ambientais muito distintas de outros lugares onde o turismo se desenvolve. O confinamento espacial, a limitação das trocas atmosféricas, a ausência total ou parcial de luz e a estabilidade climática são características comuns à maioria delas, tornando-as semelhantes entre si quanto aos cuidados e precauções necessários, mas diferentes das demais situações de manejo dos recursos naturais para fins turísticos.

O estudo da fragilidade do ambiente cavernícola pode ser dividido em variáveis de análise, como a geologia, a geomorfologia, a hidrologia, a paleontologia, a arqueologia, o microclima, a fauna, as interferências antrópicas, o imaginário sobre as cavernas e os riscos a elas associados (LOBO et al., 2007). A análise prévia destas variáveis, que podem ser estudadas por meio de diversos métodos e técnicas, permite a posterior identificação dos

¹ Universidade Estadual Paulista- UNESP. E-mail: heroslobo@hotmail.com

impactos ambientais negativos decorrentes da implantação e da prática do turismo. O objetivo do estudo microclimático proposto para o manejo espeleoturístico é estabelecer limites máximos aceitáveis para as alterações no ambiente cavernícola, de forma a não comprometer o patrimônio espeleológico e nem as condições de vida da biota subterrânea.

De uma forma geral, os estudos existentes no Brasil sobre os impactos ambientais específicos do espeleoturismo ainda estão se iniciando. A maioria das análises mais consistentes, como é o caso de Soldatelli (2005), se concentra no ambiente externo, ressaltando os impactos gerados nas trilhas, acesso obrigatório para qualquer atrativo de natureza. Faltam na literatura nacional compilações mais detalhadas e sistematizadas sobre os impactos ambientais do turismo nas cavernas brasileiras.

No contexto mundial, pode-se destacar o trabalho de Cigna & Burri (2000), que sintetizam os principais impactos do espeleoturismo nas seguintes categorias: efeitos da iluminação; calor gerado pelo corpo dos turistas; aumento nas taxas de gás carbônico; poeira e partículas transportadas nas roupas, pele e cabelos; depredação. Lobo (2006) acrescenta que estes impactos podem variar em função do tipo de prática espeleoturística – aventura, contemplação, religião – e que os impactos persistem mesmo em atividades mais brandas, por vezes classificadas como ecoturismo. Cigna (2002-a, b) propõe sistemas de monitoramento prévio e pós-visitação para minimizar estes problemas. A base do trabalho do autor se concentra nas análises microclimáticas.

Partindo das pesquisas mencionadas e tendo em vista o planejamento sustentável do espeleoturismo de forma a minimizar ao máximo os impactos mencionados, o presente trabalho apresenta uma breve revisão metodológica sobre os métodos e sistemas de manejo de cavernas para fins turísticos. O objetivo maior é demonstrar a relevância dos estudos prévios à visitação, com enfoque maior no microclima, de forma a estabelecer um ponto de partida – o *baseline* – para a posterior mensuração dos impactos decorrentes da implantação e do uso turístico.

Para tanto, realizou-se levantamento bibliográfico com enfoque nos procedimentos de coleta, mensuração e análise utilizados por pesquisadores de diversas partes do mundo. Os resultados são apresentados na forma de uma proposta inicial para a implantação de atividades espeleoturísticas. Desta forma, o presente estudo se integra a outros trabalhos anteriores focados na realidade brasileira de manejo de cavernas (p.e. MARRA, 2001; SCALEANTE, 2003; LOBO, 2007).

Manejo de Cavernas Para o Turismo

O manejo de cavernas para fins turísticos no mundo todo se concentra, basicamente, em dois aspectos: a identificação de variáveis ambientais aplicáveis e de seus respectivos parâmetros aceitáveis de alteração. De uma forma geral, Cigna (2002-a, b) aponta a necessidade de análise da temperatura – do ar, das águas, das rochas – da umidade relativa do ar, das taxas de gás carbônico – CO_2 – no ambiente, dos níveis de radônio – R^{222} – e outros gases se necessário e dos padrões de circulação de água e ar. No Brasil, o *Termo de Referência para Elaboração de Plano de Manejo Espeleológico* editado pelo IBAMA/CECAV² em 2001, não menciona a necessidade de realização destes estudos. Todavia, recentes pesquisas de campo no país enfatizaram pelo menos dois deles: a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar. Nesse sentido, ressaltam-se os trabalhos realizados na Gruta do Lago Azul (UFMS, 2002; figura 1a), na Caverna de Santana (SCALEANTE, 2003; figura 1b) e na Gruta de Ubajara (VERÍSSIMO et al., 2005; figura 1c).



Figura 1³: a – Gruta do Lago Azul, Bonito-MS. O destaque é para o turista, servindo de escada; b – Caverna de Santana, PETAR-SP; c – Teleférico no PARNA de Ubajara-CE.

² Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas.

³ Fotos 1.1 e 1.2 – Heros A. S. Lobo; 1.3 – César U. V. Veríssimo.

Recomendações Metodológicas Para a Inserção de Estudos de Microclima para Planos de Manejo Espeleoturísticos

Tomando como ponto de partida os parâmetros microclimáticos mencionados e considerando as metodologias e diretrizes de manejo abordadas nos trabalhos de Cigna & Forti (1988), Pulido-Bosch et al. (1997), Buecher (1999), Cigna (2002-a, b) e Freitas & Schmekal (2006), serão brevemente discutidos neste artigo os procedimentos de registro, coleta, análise e interpretação dos dados do meio físico intangível – microclima – para fins de manejo espeleoturístico. Busca-se com isso contribuir para a sistematização de um procedimento metodológico adequado para a obtenção do *baseline* de uma determinada caverna onde se pretende implantar o turismo, o que permite futuras ações de planejamento turístico e o monitoramento dos parâmetros analisados durante o seu processo de gestão. Com isso, o presente trabalho evolui a partir do modelo conceitual (Figura 2) proposto por Cigna & Forti (1988), conferindo maior detalhamento aos procedimentos analisados.

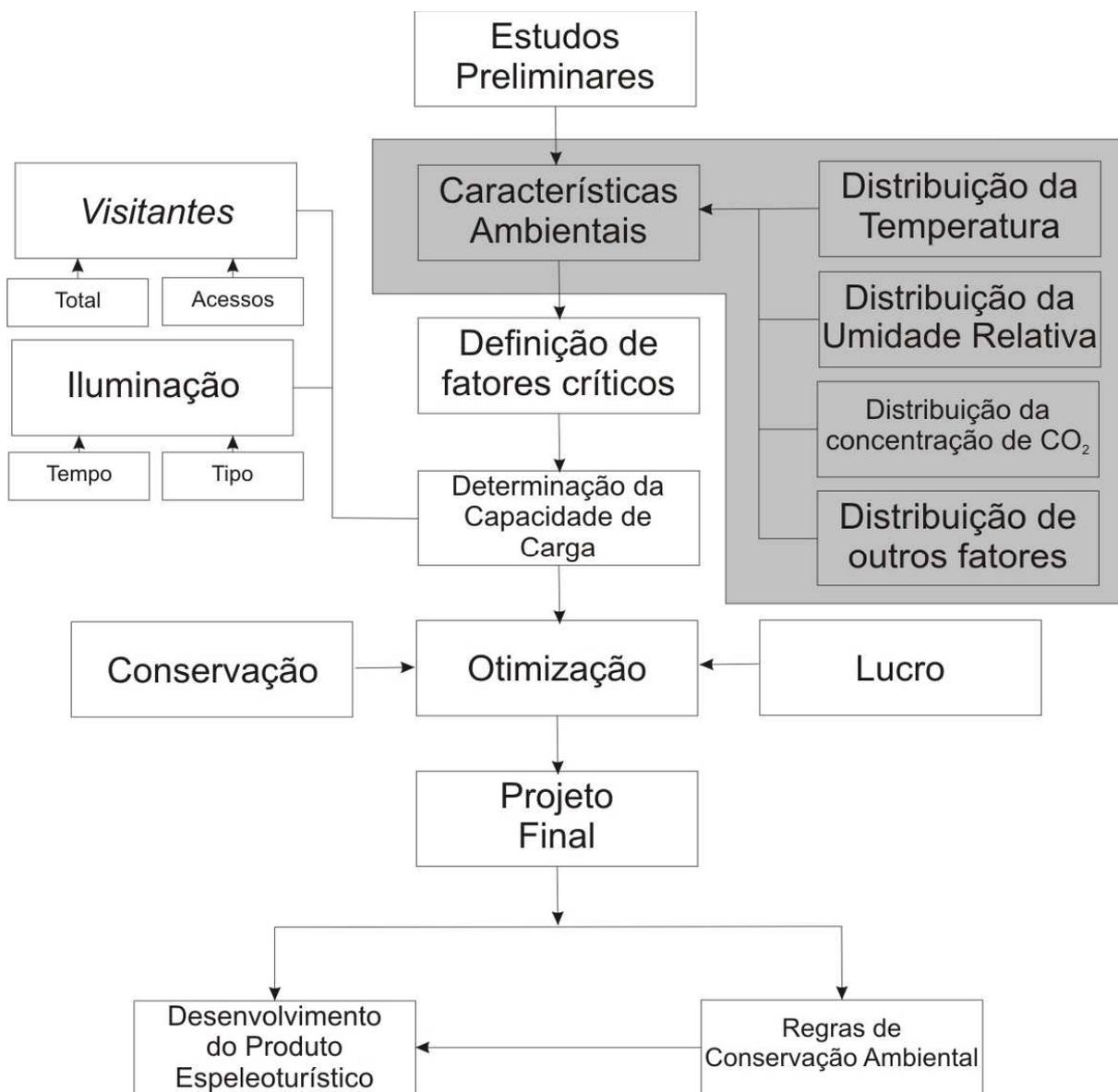


Figura 2 – Modelo conceitual para o manejo de cavernas proposto por Cigna & Forti (1988, p. 36). A área destacada em cinza representa os parâmetros de análise e as etapas do processo detalhados e ampliados no presente trabalho.

Procedimentos de Monitoramento, Registro e Coleta de Dados

A exeqüibilidade dos métodos e técnicas explicitados depende de uma definição precisa das etapas de campo para a obtenção de dados confiáveis para a formação do *baseline* da caverna sob análise.

Considerando o foco deste artigo serão detalhadas, em linhas gerais, algumas diretrizes para o registro e coleta de dados de Temperatura (T), Umidade Relativa do Ar (UR), Gás Carbônico (CO₂), Radônio (R²²²) e dos Padrões de Circulação de Ar.

Atributos Microclimáticos

A temperatura ambiente, umidade relativa do ar e as taxas de CO₂ devem ser amplamente monitoradas na caverna pesquisada, considerando seus diversos salões e galerias. Para tanto, são utilizados termo-higrômetros dotados de *data loggers*, que registram e armazenam dados simultâneos em função de um período de tempo pré-determinado. A definição do intervalo de coleta varia em função dos objetivos da pesquisa: Scaleante (2003), que visava identificar os impactos do uso de carbureteiras, trabalhou com medições a cada minuto. Song et al. (2000), que fizeram suas pesquisas em uma caverna cujo turismo é massificado, utilizaram intervalos de uma hora. Cigna (2002-b) recomenda que os intervalos de medição não sejam superiores a seis horas, ou seja, no mínimo quatro registros diários devem ser feitos. Esta etapa do monitoramento não deve ser inferior a um ano, de maneira a considerar a sazonalidade climática e as estações de seca e chuva.

Em caso de cavernas onde já se sabe onde será o circuito de visitação ou em outras que já sejam visitadas, é imprescindível a realização das medições em ambas as áreas: visitadas e não visitadas. Isso permite que estudos futuros monitorem as variações em função do *baseline* e das próprias alterações naturais, além de subsidiarem uma série de outros estudos. Na área externa próxima às cavernas também deve ser feito um registro simultâneo dos parâmetros mensurados em seu interior. Este servirá para identificar os níveis de interferência do clima externo no interno.

Os procedimentos expostos já foram validados em diversas outras pesquisas, dentre as quais se destacam os trabalhos de Pulido-Bosch et al. (1997) na Caverna Aracena, Espanha; Buecher (1999) na Caverna Kartchner, Estados Unidos; Song et al. (2000) na Caverna Baiyun, China; Zelinka (2002) em diversas cavernas eslavas. No Brasil, destacam-se os trabalhos de Carvalho (1994) na Gruta Olhos D'Água-PR, além dos trabalhos de UFMS (2002), Scaleante (2003) e Veríssimo et al. (2005), anteriormente já citados.

Quanto ao Radônio, Cigna (2005) traz uma explicação detalhada sobre os métodos mais eficazes para a sua medição dentro das cavernas. Trata-se de um importante parâmetro para o manejo espeleoturístico, que indiretamente indica o grau de ventilação do ambiente cavernícola, além de ser um gás cancerígeno em alguns níveis de exposição, tornando-se um aspecto de risco à saúde humana principalmente de guias de turismo (CRAVEN & SMITH, 2006). No Brasil, pesquisas foram conduzidas no PETAR por Alberigi & Pecequilo (2007),

recomendando a coleta e o monitoramento por no mínimo três meses, de forma a identificar a manutenção e as concentrações do gás no ambiente em intervalos mais amplos de tempo.

Circulação de Ar

O movimento do ar é o agente mais significativo para a transmissão da influência do clima externo sobre o microclima das cavernas (STOEVA & STOEVA, 2005), sendo um fator imprescindível para o estabelecimento de futuras diretrizes de manejo. Cigna (1968) explica que o ar pode circular no ambiente cavernícola de duas formas: estática ou dinâmica. A circulação estática ocorre em função do balanço termodinâmico, hídrico e de composição gasosa entre o ar do ambiente interno e externo de uma caverna. A dinâmica é fruto da circulação da água, que por consequência movimenta o ar.

É por meio deste parâmetro que se pode identificar se os impactos causados no microclima serão dispersos com maior ou menor grau de facilidade. Há que se considerar que parte destes impactos pode estar sendo levada para galerias superiores ou mais ao fundo da caverna em função de correntes de ar.

Para a análise deste parâmetro, parte-se dos dados microclimáticos das diferentes épocas do ano, procedimento adotado com sucesso por Buecher (1999) na Caverna Kartchner, nos Estados Unidos. Além disso, utilizam-se anemômetros com sensor *hot wire*, conforme pesquisa executada por Freitas & Schmekal (2006) na Caverna Glowworm, na Nova Zelândia. Trata-se de um equipamento que mede a velocidade e a direção do vento em escalas de alta precisão, considerando a baixa circulação de ar existente em algumas cavernas. Outro parâmetro considerado é a densidade do ar – que depende, entre outros, da UR e da pressão atmosférica – dentro e fora da caverna, que pode influenciar nas trocas gasosas entre estes dois ambientes (CIGNA, 1968).

Como dados acessórios, também são levados em conta: a existência de cursos d'água, seu volume e fluxo direcional. Como os fluxos de ar podem mudar em função do clima regional, é imprescindível que essa aferição seja feita nas diferentes estações do ano.

Circulação de Água

Em cavernas com rios e córregos ativos ou lagos, o monitoramento do nível d'água ao longo do ano fornece informações que subsidiam a compreensão da circulação de ar dentro da caverna e das trocas gasosas efetuadas com o meio externo. Não somente pela movimentação

física da água, que por atrito movimentada também o ar, mas por um efeito que pode ser comparado a um pistão. Pulido-Bosch et al. (1997) constataram que à medida que o volume de água variava no interior da Caverna Marvels, na Espanha, o volume de ar também variava proporcionalmente. Isso porque a água atua como o êmbolo de uma seringa, comprimindo o ar para fora da caverna quando aumenta o seu nível, ou trazendo ar de fora da caverna quando o nível de água desce. Como dado acessório, recomenda-se também a medição da temperatura dessa água, para identificar suas possíveis interações com a temperatura do ar e das rochas. Grandes diferenças de temperatura entre a água e as rochas de uma caverna influenciam no mecanismo de condensação em seu interior (CIGNA & FORTI, 1986).

Temperatura das Rochas

Para completar a sistematização dos dados, devem também ser aferidas as temperaturas das paredes das cavernas. Esta informação serve como subsídio à caracterização meteorológica e à compreensão dos processos espeleogenéticos ativos. Este procedimento foi adotado com sucesso por Sarbu & Lascu (1997) na Caverna Movile, Romênia. Os autores também afirmam que em cavernas com condutos freáticos, a corrosão por condensação é um dos mecanismos mais atuantes no meio físico, daí a necessidade de sua compreensão para subsidiar o manejo espeleoturístico. A análise da temperatura das rochas também foi utilizada por Freitas & Schmekal (2006) na Caverna Glowworm, Nova Zelândia, como subsídio à compreensão dos mecanismos de condensação e suas alterações em função do turismo.

Procedimentos de Análise e Interpretação dos Dados

Os parâmetros identificados de temperatura (ambiente, água, rochas), umidade relativa do ar, CO₂, R²²² e os fluxos de circulação de ar e de água podem ser analisados com o uso de técnicas de análise estatística multivariada, das quais se ressaltam: a análise de agrupamentos, a análise de componentes principais e a análise discriminante.

Os resultados destas análises permitem a determinação das áreas mais propícias para que outros procedimentos sejam aplicados, no intuito de verificar as variações naturais de um conjunto de parâmetros antes e depois do início da atividade turística.

Os métodos de análise listados podem ser utilizados, entre outros, para a compreensão das sensibilidades e atratividades ambientais para o turismo, bem como para fins de conservação do meio físico ou de espécies viventes nas cavernas. Além disso, permitem a

verificação da origem das alterações no microclima e no meio físico da caverna: se naturais ou por meio antrópico (CIGNA & FORTI, 1986, 1988; FREITAS & SCHMEKAL, 2003, 2006).

Com isso, o *baseline* fornece os subsídios necessários para um dos procedimentos básicos do manejo turístico de cavernas: a identificação dos níveis e padrões de circulação de energia em seu interior. Neste sentido, a aplicação de estudos microclimáticos e sua classificação no ambiente cavernícola deve avançar a partir dos estudos de Heaton (1986), que define os níveis baixo, moderado e alto de intensidade de circulação de energia – tendo por base a circulação de água como principal indicador – e de Stoeva & Stoev (2006), que classificam as zonas climáticas de uma caverna em três níveis distintos: zona heterotrófica, transicional insaturada e a zona de temperaturas constantes. A identificação dos diferentes níveis de circulação de energia permite a obtenção de conclusões sobre a dispersão e o acúmulo de impactos ambientais em diferentes áreas das cavernas, auxiliando como uma ferramenta estratégica na obtenção de decisões inerentes ao manejo turístico.

Ressalta-se que, no caso da aplicação destes estudos para o turismo – objetivo maior da sistematização apresentada –, obtêm-se os subsídios mínimos para a capacidade de carga turística de cada caverna pesquisada. Esta deve ser trabalhada de forma a criar limites quantitativos e qualitativos para a visitação, por meio de métodos como a Capacidade de Carga de Cifuentes, o LAC – Limites Aceitáveis de Mudança – e o VIM – Manejo dos Impactos de Visitação (MITRAUD, 2003), entre muitos outros possíveis.

Considerações Finais

Os parâmetros microclimáticos estão entre os mais relevantes para o manejo e gestão do turismo em uma caverna, conforme os autores consultados. As suas variações naturais precisam ser conhecidas preferencialmente antes do início da visitação, para se estabelecer um ponto inicial de trabalho e identificar as possíveis alterações antrópicas. Este levantamento prévio, ora chamado de *baseline*, é também imprescindível para a identificação de limites aceitáveis de mudança e de capacidade de carga de visitação de cada caverna.

Levando-se em conta os procedimentos apresentados, a figura 3 sintetiza o processo metodológico ora proposto e ilustra, de modo geral, a correlação entre as variáveis analisadas.

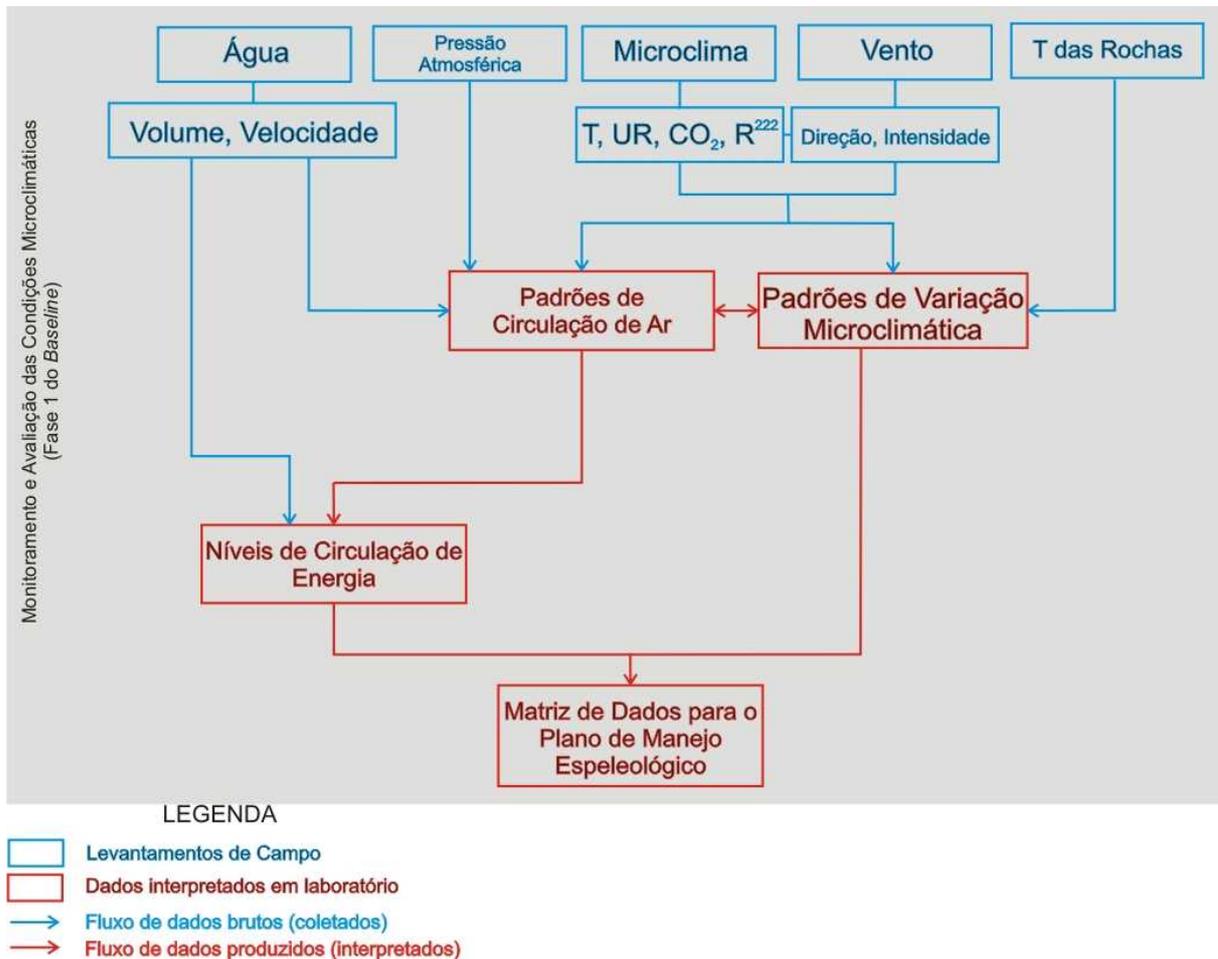


Figura 3 – Proposta de modelo conceitual para a análise do microclima de uma caverna para fins de manejo turístico.

Os dados obtidos dos levantamentos microclimáticos devem ser empregados para aplicação dos métodos técnico-científicos já consagrados para o manejo turístico de áreas naturais, como a Capacidade de Carga, o LAC, o VIM, acrescidos de aspectos bióticos, sociais e do meio físico tangível no manejo espeleoturístico.

Referências

ALBERIGI, S.; PECEQUILO, B.R.S. Caves of Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP, Brazil: a study of indoor radon levels and impact of seasonal temperature and humidity. In: International Nuclear Atlantic Conference, 2007, Santos, SP. **Proceedings**. Santos: ABEN, 2007. p. 1-6.

ARIAS, M.C.; MESQUITA, C.A.B.; MÉNDEZ, J.; MORALES, M.E.; AGUILAR, N.; CANCINO, D.; GALLO, M.; RAMIREZ, C.; RIBEIRO, N.; SANDOVAL, E.; TURCIOS, M. **Capacidad de carga turística de las áreas de uso público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica**. Turrialba: CATIE/WWF, 1999.

BUECHER, R.H. Microclimate study of Kartchner Caverns, Arizona. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 61, n. 2, p. 108-120, ago. 1999.

CARVALHO, S.M. **Estudo do microclima subterrâneo: o exemplo da Gruta Olhos d'Água – Castro (PR)**. Rio Claro: UNESP, 1994. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 1994.

CIGNA, A. A. An analytical study of air circulation in caves. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 3B n. 1/2, p. 42-54. 1968.

CIGNA, A. A. Modern trend in cave monitoring. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v. 31, n. 1, p. 35-54. 2002-a.

CIGNA, A. A. Monitoring of caves: conclusions and recommendations. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v. 31, n. 1, 175-177. 2002-b.

CIGNA, A. A. Radon in caves. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 34, n. 1/2, p. 1-18. jan.-jul. 2005.

CIGNA, A. A.; FORTI, P. The speleogenetic role of air flow caused by convection: 1st contribution. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 15, p. 41-52. 1986.

CIGNA, A.A.; FORTI, P. The environmental impact assessment of a tourist cave. In: Cave Tourism International Symposium at-170 Anniversary of Postojnska Jama, Postojna (Yugoslavia), 1988, Postojna. **Proceedings**. Postojna: UIS, 1988. p. 29-38.

CIGNA, A. A.; BURRI, E. Development, management and economy of show caves. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 29 n. 01, p. 01-27, 2000.

CRAVEN, S.A.; SMITH, B.J. Radon in caves: clinical aspects. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 35, n. 2, p. 93-101. jul. 2006.

FREITAS, C.R. de; SCHMEKAL, A. Condensation as a microclimate process: measurement, numerical simulation and prediction in the Glowworm Cave, New Zealand. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 557-575. 2003.

FREITAS, C.R. de; SCHMEKAL, A. Studies of condensation/evaporation processes in the Glowworm Cave, New Zealand. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 35, n. 2, p. 75-81. jul. 2006.

HEATON, T. Caves: a tremendous range in energy environments on earth. **National Speleological Society News**, Huntsville, v. 08, n. 44, p. 301-4. 1986.

IBAMA. CECAV. **Termo de referência para elaboração de planos de manejo espeleológico**. Brasília: Ibama, s.d.

LOBO, H.A.S. Caracterização dos impactos ambientais negativos do espeleoturismo e suas possibilidades de manejo. In: Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul, 4, 2006, Caxias do Sul. **Anais**. Caxias do Sul: UCS, 2006. 01-15.

LOBO, H.A.S. Método para avaliação do potencial espeleoturístico do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, MS. **Caderno Virtual de Turismo**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 99-110. dez. 2007.

LOBO, H.A.S.; LOURENÇÃO, M.L.F.; AMORIM, A. dos S.; CUNHA, F.M.; LIMA, K.M.; CAMARGO, R.R.; ZAGO, S. Variáveis e indicadores para análise do potencial espeleoturístico. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 29, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais**. Ouro Preto: SEE/SBE, 2007. p. 1-4.

MITRAUD, S. Monitoramento e controles de impacto de visitação. In: MITRAUD, S. (org.) **Manual de ecoturismo de base comunitária**. Brasília: WWF, 2003.

PULIDO-BOSCH, A.; MARTÍN-ROSALES, W.; LÓPEZ-CHICANO, M.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, M.; VALLEJOS, A. Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain). **Environmental Geology**, v. 31 n. 3/4, p. 142-9, jun. 1997.

SARBU, S.M.; LASCU, C. Condensation corrosion in Movile Cave, Romania. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 59 n. 3, p. 99-102, dez. 1997.

SCALEANTE, J.A.B. Estudo de impacto em cavernas com interesse turístico com uso de carbureto para iluminação. In: International Congress of Speleology, 13, Brasília. **Proceedings**. Brasília: SBE, 2001. p. 225-8.

SCALEANTE, J.A.B. **Avaliação do impacto de atividades turísticas em cavernas**. Campinas: UNICAMP, 2003. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 2003.

SOLDATELI, M. Impactos ambientais negativos no contexto do turismo de natureza. In: TRIGO, L.G.G.; PANOSSO NETTO, A.; CARVALHO, M.A.; PIRES, P. dos S. (eds.) **Análises regionais e globais do turismo brasileiro**. São Paulo: Roca, 2005.

STOEVA, P.; STOEVA, A. Cave air temperature response to climate and solar and geomagnetic activity. **Memorie Della Società Astronomica Italiana**, v. 76, p. 1042-1047. 2005.

UFMS. **Estudo de impacto ambiental da visitação turística do Monumento Natural Gruta do Lago Azul – Bonito, MS**. Campo Grande: UFMS, 2002.

VERÍSSIMO, C.U.V.; RICARDO, J.M.; BARCELOS, A.C.; NOGUEIRA NETO, J.A.; SILVA FILHO, W.F.; NACIMENTO JÚNIOR, J.V.; PAIVA, A.O. Espeleoturismo e microclima da Gruta de Ubajara, CE. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 15, p. 244-53. 2005.

ZELINKA, J. Microclimatic research in the slovakian show caves. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v. 31, n. 1, p. 151-163. 2002.