

# Sistema hídrico de cavernas em quartzito na Serra de Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil.

Ana Eliza Medeiros Cândido (1,2), Pedro Assunção (2,3,4), Gabriel Lourenço Carvalho de Oliveira (2,4), Paulo Eduardo Santos Lima (1,2), Tiago Vilaça Bastos (2), Leandra Peixoto Nolasco Selos (1,2), Marcelo Taylor de Lima (2), Lucas Pereira Leão (1)

(1) Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Ouro Preto (MG), Brasil. ana.candido@aluno.ufop.edu.br

(2) Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE), Ouro Preto (MG), Brasil

(3) Espelogrupo Pains (EPA), Pains (MG), Brasil

(4) Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMT-IGC, Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID), Belo Horizonte, Brasil

## Abstract

Quartzite cave systems correspond to complex geological formations with dynamics distinct from traditional systems associated with carbonate rocks, and they have been gaining increasing scientific recognition. The Ibitipoca State Park, the study area of this work, stands out as an important Brazilian speleological province, housing extensive quartzite caves, including the Martimiano II Cave, the largest in the country in this lithology. The objective of this study is to investigate the potential hydro-karstic system of the Coelhos-Casas-Rasteirinha caves, using fluorescent dye tracers to map hydrological connections and delineate recharge and discharge areas. The results confirm the interconnection between the caves and reinforce the need for sustainable management of the area to preserve these unique environments.

## Résumé

Les systèmes de grottes en quartzite correspondent à des formations géologiques complexes, dont les dynamiques diffèrent de celles des systèmes traditionnels associés aux roches carbonatées, et ils gagnent de plus en plus en notoriété scientifique. Le parc d'État d'Ibitipoca, zone d'étude de ce travail, se distingue comme une importante province spéléologique brésilienne, abritant de vastes grottes en quartzite, dont la grotte Martimiano II, la plus grande du pays dans cette lithologie. L'objectif de cette étude est d'explorer le potentiel système hydro-karstique des grottes Coelhos-Casas-Rasteirinha, en utilisant des traceurs fluorescents pour cartographier les connexions hydrologiques et délimiter les zones de recharge et de décharge. Les résultats confirment l'interconnexion entre les grottes et renforcent la nécessité d'une gestion durable de la zone pour préserver ces environnements uniques.

## Resumen

Sistemas de cavernas em quartzito correspondem a formações geológicas complexas, com dinâmicas distintas dos sistemas tradicionais associados as rochas carbonáticas, e que vem ganhando cada vez mais notoriedade científica. O Parque Estadual De Ibitipoca, área de estudo deste trabalho, destaca-se como uma importante província espeleológica brasileira, que abriga extensas cavernas em quartzito, entre elas a gruta Martimiano II, a maior do país nessa litologia. O objetivo deste estudo está na investigação do possível sistema hídrico-cárstico das cavernas Coelhos-Casas-Rasteirinha, através da utilização de traçadores corantes fluorescentes para mapear conexões hídricas e delimitar áreas de recarga e descarga. Os resultados confirmam a interligação entre as cavernas, e reforça a necessidade de uma gestão sustentável da área para preservação desses ambientes.

## 1. Introduction

Sistemas de cavernas correspondem a parte da paisagem cárstica, que são relevos peculiares da crosta terrestre. Durante muito tempo, o termo carste associou-se exclusivamente às rochas carbonáticas (calcários e dolomitos), com cavernas e condutos geradas a partir da sua dissolução (FORD & WILLIAMS, 2007).

O avanço nos estudos em carstologia trazem novas perspectivas a respeito desse termo, visto que feições semelhantes e bem desenvolvidas ocorrem ao redor do mundo também em outras litologias, como em rochas siliciclásticas (WRAY, 1997). De acordo com a análise feita por Fabri (2014), existem consensos acerca do processo de formação de cavernas em rochas siliciclásticas.

A disponibilidade hídrica e o tempo necessário para que ocorra a dissolução, em virtude da baixa solubilidade da sílica, são importantes fatores consensuais entre diversos autores. Além disso, a estabilidade tectônica tem papel fundamental na dissolução, pois ela permite a continuidade do processo ao longo do tempo geológico. Fatores geológicos-estruturais também são condicionantes importantes, pois a dissolução passa a ser eficiente também nos pequenos espaços vazios presentes entre os grãos e nas descontinuidades de rochas como o quartzito. Por fim, o processo mecânico erosivo conhecido como "piping" também aparece como um condicionante importante, a partir da abertura de espaços na rocha por meio da remoção física dos grãos

(WRAY, 1997; SILVA, 2004; FABRI 2014; WRAY & SAURO, 2017).

A geometria dos sistemas de cavernas em quartzitos pode passar por mudanças severas ao longo do tempo, como colapsos, preenchimento por sedimentos, oscilações da superfície freática e mudanças das direções de fluxo. Essas complexidades dificultam o entendimento da circulação da água subterrânea e na delimitação das áreas de contribuição hídrica destes sistemas. Dessa maneira, a técnica de traçadores fluorescentes tem se mostrado uma excelente ferramenta para determinar direções de fluxo/conexões hidráulicas, delimitar bacias de contribuição hídrica (áreas de recargas e descarga), além de estimar velocidades e tempo de trânsito do fluxo. Embora essa técnica seja bastante difundida em carste desenvolvidos em rochas carbonáticas, existem poucos estudos com sua

aplicação em sistemas de cavernas quartzíticas (OLIVEIRA et al., 2024).

O Parque Estadual do Ibitipoca (PEIb) corresponde a uma unidade de conservação permanente com muitas cavernas formadas em quartzito, incluindo as maiores do país, sendo considerado uma importante província espeleológica brasileira. No setor sudeste do PEIb existe um sistema de cavernas cujas conexões hídricas e área de recarga são desconhecidas (Fig. 1). Diante deste contexto, este trabalho busca identificar as possíveis conectividades e a delimitação da contribuição hídrica do sistema da Gruta dos Coelho, Grutas das Casas e Gruta Rasteirinha, no sudoeste do PEIb, por meio da aplicação de traçadores fluorescentes e análise dos parâmetros físico-químicos.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Revisão bibliográfica e dados pré-existent

Constituiu-se da análise e busca por estudos prévios relacionados com a temática da pesquisa. Tais trabalhos, que envolvem artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e relatórios técnicos abordam pesquisas sobre a geologia/espeleologia do local (TEIXEIRA-SILVA et al., 2017). Também inclui a revisão e compreensão sobre os métodos que serão aplicados a fim de contribuir para seu desenvolvimento, além de dados espeleológicos fornecidos pela Sociedade Excursionista e Espeleológica – SEE.

### 2.2. Medições de vazão e análise físico-química

Para o monitoramento das vazões de descarga foi empregado o método volumétrico, que foi utilizado posteriormente para o cálculo da massa recuperada dos traçadores corantes fluorescentes. O método volumétrico feito se deu por meio da cronometragem do tempo gasto para encher um balde plástico com 30 litros e um cronômetro. As medições ocorreram em dois pontos diferentes, sendo um na gruta das Casas e o outro na Gruta Rasteirinha, onde foi realizado 5 medidas em cada um, para que fosse possível obter a média entre eles e um valor mais exato, visto que o fluxo da água estava alto e difícil se ser medido.

Os parâmetros físico-químicos foram obtidos por meio de um por meio de um multiparâmetro Ultrameter modelo IITM6p, onde foram obtidos os valores de potencial hidrogeniônico (PH) para as três cavidades.

### 2.3. Traçadores corantes fluorescentes

A técnica de traçadores é uma ferramenta muito importante utilizada na hidrogeologia cárstica. Por meio dela, é possível estabelecer os limites da bacia hidrográfica, determinar áreas de recarga, além de permitir estimar as velocidades de fluxo das águas subterrâneas (FIELD, 2002; GOLDSCHIEDER & Drew, 2007). A utilização desse método se deu a partir do estudo de background, que correspondeu a uma etapa inicial registrada 22 horas antes do início dos testes, para permitir a aplicação através da caracterização das condições naturais de fluorescência dos fluxos hídricos da área de estudo. Posteriormente, foi aplicado o teste onde a quantidade do traçador foi realizada com uma quantidade de injeção controlada, estimada a partir da equação proposta por Worthington & Smart (2003), sendo:

$$M = 1,9 \cdot 10^{-5} (L \cdot Q \cdot C)^{0,95}$$

A partir disso, foi injetado 200 gramas de um traçador fluorescente (Fluoresceína Sódica) no ponto de recarga e monitoramento das curvas de recuperação dos traçadores nos pontos de descarga, por meio de um fluorímetro GGUN-FL30 modelo (1650) (SCHNEGG, 2002) com data loggers para análise quantitativa. O ponto de injeção ocorreu no sumidouro da Gruta Coelho/Tio Nelson, e análise quantitativa com a instalação de dois fluorímetros de campo, sendo um na Gruta das Casas, programado para obter medidas a cada 15 minutos e na Gruta Rasteirinha, a cada 5 minutos (Fig. 1).

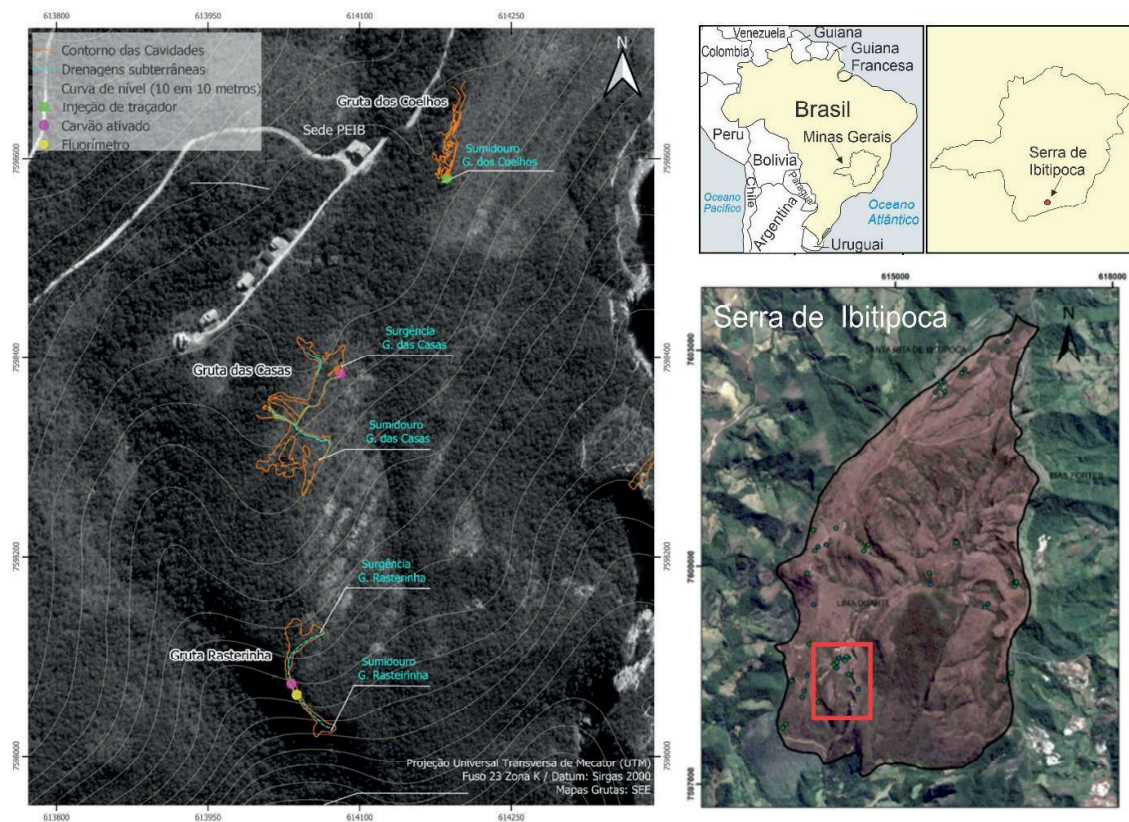


Figure 1: Localização do sistema hídrico de cavernas estudado em relação ao Parque Estadual da Serra de Ibitipoca, no sul do estado de Minas Gerais, Brasil.

### 3. 3. Results

A aplicação das metodologias foi facilitada pelo conhecimento prévio das cavidades, possibilitada a partir do mapeamento das cavidades já realizado previamente, pela Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE).

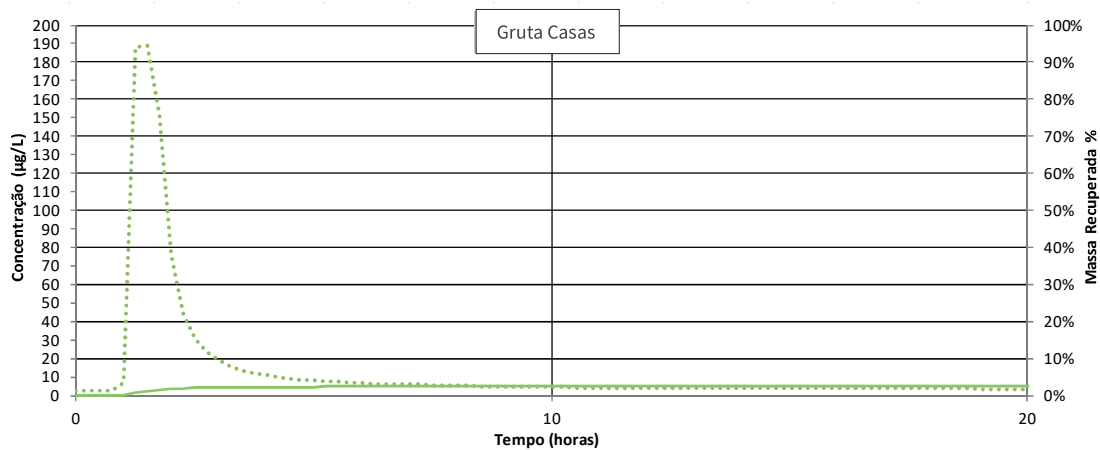
Os valores de vazão obtidos foram semelhantes para duas cavidades onde foi possível realizar a medição, sendo de 24,52 m<sup>3</sup>/h para a gruta das casas e 25,48 m<sup>3</sup>/h para a gruta rasteirinha. A coleta, realizada em período chuvoso, pode ter contribuído para os valores altos de vazão obtidos. Na gruta dos coelhos, não foi encontrado um ponto onde o método pode ser empregado para obter valores precisos.

A análise dos parâmetros físico-químicos foi realizada nas três cavidades com o objetivo principal de obter informações sobre o potencial hidrogeniônico (pH), sendo 4,45 para a Gruta dos Coelho's/Tio Nelson; 4,39 para a Gruta das Casas e 4,26 para a Gruta Rasteirinha. Tais informações indicam um pH baixo, de característica ácida e que de acordo com Auler et al. (2020), apresentam influência para diminuição

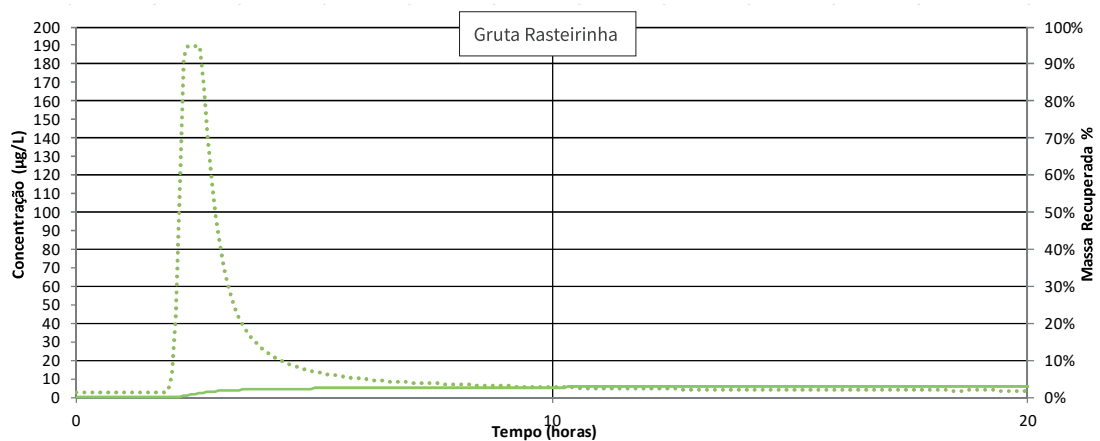
da intensidade da fluorescência e que envolve uma área também em quartzo e com condições baixas de pH.

A partir da análise quantitativa realizada com a fluoresceína, os dados obtidos apresentaram resultados associados aos parâmetros quantitativos, que passam pela fase de ascensão, pico e recessão, associadas ao tempo e concentração específicos, apresentados nas imagens 1 e 2. Essas fases incluem a análise do tempo em que o traçador foi detectado pela primeira vez após a injeção (t1); o momento em que a concentração atinge seu valor máximo (tp); o ponto em que o traçador retorna a níveis indetectáveis (tf) e o tempo necessário para que metade da massa total do traçador seja recuperada (tr/2) (Fig.2).

A partir disso, as concentrações ao longo da curva são definidas, com valor máximo de concentração atingido aos 90 minutos após a injeção, com concentração máxima de 189,14 ppb e 155 minutos com concentração máxima de 189,95 ppm na Gruta das Casas e Rasteirinha, respectivamente (Fig. 2).



Parametros Iniciais			Curva de Restituição			Parametros Hidráulicos			Contudo e Fluxo	
Injeção	23/10/24-17:31:00		C0	2.77	(ppb)	tm	5.03	(horas)	V(m3)	123.25
Min	0.20	(kg)	t1	1.50	(horas)	Vm	71.95	(m/h)	A(m2)	0.34
Qin	0.00	(m3/h)	Cp	189.14	(ppb)	Vmax	241.50	(m/h)	Dc(m)	0.66
Qout	24.48	(m3/h)	tp	1.50	(horas)	Vf	28.76	(m/h)	ff	1.66
Δt	15	(min)	tR/2	1.50	(horas)	hL	0.005	(m)	Laminar	
X	315	(m)	Mout	0.01	(kg)	DL	191.21	(m2/h)	Pe	136.31
Xs	362	(m)		3%	(%)	α	2.66	(m)	Re	1698.44



Parametros Iniciais			Curva de Restituição			Parametros Hidráulicos			Contudo e Fluxo	
Injeção	23/10/24-17:26:00		C0	2.40	(ppb)	tm	6.10	(horas)	V(m3)	149.45
Min	0.20	(kg)	t1	1.92	(horas)	Vm	101.72	(m/h)	A(m2)	0.24
Qin	0.00	(m3/h)	Cp	189.95	(ppb)	Vmax	324.00	(m/h)	Dc(m)	0.55
Qout	24.48	(m3/h)	tp	2.58	(horas)	Vf	46.23	(m/h)	ff	2.55
Δt	5	(min)	tR/2	2.83	(horas)	hL	0.024	(m)	Transição	
X	540	(m)	Mout	0.01	(kg)	DL	258.55	(m2/h)	Pe	244.32
Xs	621	(m)		3%	(%)	α	2.54	(m)	Re	2019.50

Figure 2: Curvas de restituição da fluoresceína sódica para os pontos de monitoramento na Gruta Casas (superior) e na Gruta Rasteirinha (inferior) com os respectivos valores dos parâmetros iniciais, das curvas, hidráulicos e geométricos.

## 4. Discussion

De acordo com os estudos realizados, foi possível obter dados importantes a respeito das três cavidades analisadas. Os resultados obtidos a partir do teste quantitativo mostram que existe uma conexão hídrica entre as grutas Coelhos-Casas-Rasteirinha formando um sistema hídrico-carstico, no Parque Estadual de Ibitipoca.

A velocidade máxima do fluxo apresentou valores elevados, e que aumentaram da Gruta das Casas para a Gruta Rasteirinha, sugerindo uma contribuição do gradiente hidráulico presente no sistema.

Ademais, outros parâmetros obtidos abrem espaço para maiores discussões e busca por um melhor entendimento do comportamento do

sistema, como a baixa recuperação da massa do traçador, de apenas 3% nas duas cavidades monitoradas, levantando questões sobre a dinâmica

do fluxo e possíveis vias de dispersão ainda não definidas.

## 5. Conclusion

O setor sudoeste do Parque Estadual de Ibitipoca (PEIB) abriga também o sistema hídrico das grutas Bromélias-Martimiano II, sendo o maior sistema hídrico de cavernas em quartzito do Brasil, com aproximadamente 7,5km de extensão (OLIVEIRA et al., 2023). Este estudo, que trouxe a confirmação do sistema hídrico-cárstico das grutas Coelhos-Casas-Rasteirinha no Parque é de extrema importância para a contribuição do entendimento espeleológico da região e reforça a relevância da área de estudo.

Cabe destacar que existe uma necessidade mais eficaz para a gestão de visitação turística, visto que a gruta dos Coelhos, aberta ao turismo e uma das mais visitadas do parque, integra-se a um sistema com outras

duas cavidades de extrema importância e fragilidade, que demandam ações ainda mais específicas.

Para que se tenha uma compreensão ainda maior do sistema, é necessário que se tenha uma continuidade dos estudos na área e que outros parâmetros sejam analisados. Sabe-se que a formação dessas cavidades é fortemente condicionada por fatores estruturais, os quais também influenciam no fluxo hídrico. Investigações adicionais ampliarão o conhecimento científico da região, além de fornecer importantes informações que contribuem para uma gestão mais sustentável deste patrimônio natural único.

## Acknowledgments

Esta pesquisa foi financiada por uma parceria com a Sociedade Excursionista e Espeleológica, e o Laboratório de Estudos Hidrogeológicos da UFMG (LEHID), coordenado pelos professores Paulo Galvão e Rodrigo de Paula, que cedeu os fluorímetros e traçador para realização do estudo. Os autores também agradecem ao Parque Estadual de Ibitipoca pela

parceria firmada nos estudos desenvolvidos na região, a Universidade Federal de Ouro Preto e a todos os membros da Sociedade Excursionista e Espeleológica, que contribuem diariamente para possibilitar o desenvolvimento de trabalhos como este.

## References

- Auler, A. S., Meus, P., & Pessoa, P. F. (2020). 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* (pp. 183-191).
- 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.
- FORD D., WILLIAMS P. (2007) Karst geomorphology and hydrology, Ed. Unwin Hyman Ltd. London, 601 p.
- GOLDSCHIEDER, N., DREW, D., (2007). *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor and Francis. International Contributions to Hydrogeology, 9, 19, 65, 123; 130p.
- OLIVEIRA, G. L. C., ASSUNÇÃO, P. H., LIMA, P. E. S., BASTOS, T. V., & RUDNITZKI, I. D. (2024). Conexão hídrica entre as cavernas quartzíticas Bromélias e Martimiano II, na serra de Ibitipoca, MG. *Revista Brasileira de Espeleologia-RBEsp*, 1(13), 318-338.
- SCHNEGG, P.A., (2002). An inexpensive field fluorometer for hydrogeological tracer tests with three tracers and turbidity measurement. In *Articles of the Geomagnetism Group*, 1484-1488.
- SILVA, S.M (2004). Carstificação em rochas siliciclásticas: estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais. MG. 143f. Dissertação de mestrado em geografia, 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, Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia. p. 381-394.
- WORTHINGTON, S. R. H. & SMART, C. C. (2003). Empirical equations for determining tracer mass for sink to spring tracer testing in karst. In Beck, B. F. (Ed), *Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst* (pp. 287-295).
- WRAY, R. A. L. (1997). A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. *Earth-Science Reviews* 42: 137-160.
- WRAY, R. A., & SAURO, F. (2017). An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites. *Earth-Science Reviews*, 171, 520-55.