

ESTUDOS DE VALES SECOS EM ÁREAS CÁRSTICAS: REVISÃO E POSSIBILIDADES

Adivane Morais Nogueira

Universidade de Brasília, Departamento de Geografia
Pós-Graduação em Geografia, DF, Brasil
adinogueira2010@hotmail.com

Rogério Uagoda

Universidade de Brasília, Departamento de Geografia
Pós-Graduação em Geografia, DF, Brasil
rogeriouagoda@unb.com.br

Dandara Caldeira

Universidade de Brasília, Instituto de Geociências
Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, DF, Brasil
dandara.caldeira2014@gmail.com

RESUMO

O carste apresenta regiões de conexões entre os sistemas fluviais e cársticos o fluviocarste, dispondo de feições típicas, como os vales secos. Tais feições vêm sendo estudadas de diversas formas para contribuir no entendimento da dinâmica geomorfológica do carste. Este estudo visa fazer uma revisão sobre vales secos em sistemas cársticos, tendo em vista observar o potencial científico destas áreas para diversas aplicabilidades. A revisão utilizou como principal forma de busca a plataforma *Web Of Science* (todas as bases), abrangendo o período entre 1945-2020, que abordavam sobre tais feições, com o uso das seguintes palavras-chave: *karstic valley*, *dry valleys*, *blind valley*, *relict valley*, *ancient valley*, *fossil valley*, *solution valley*, *paleovalley* e *paleokarst valley*, resultando em vinte e sete trabalhos, com diversas propostas de análise, evidenciando os fatores envolvidos na dinâmica fluviocárstica. O levantamento permite observar que são poucos estudos considerando a extensão de ocorrência de rochas carbonáticas no mundo, havendo concentração das pesquisas no continente europeu. No Brasil, apesar de dispor de regiões carbonáticas e das várias áreas mapeadas com ocorrência de cavernas, principalmente no bioma Cerrado, não há pesquisas sobre o tema, mesmo que viabilizem a identificação dos fatores que influenciam evoluções dos sistemas fluviocársticos.

Palavras-chave: Revisão. Carste. Vales. Depósitos Fluviais. Cerrado.

STUDIES OF PALEOVALLEYS IN KARSTIC AREAS: REVIEW AND POSSIBILITIES

ABSTRACT

The karst presents regions of connections between the fluvial and karstic systems the fluviokarst, having typical features, such as dry valleys. Such features have been studied in different ways to contribute to the understanding of the geomorphological dynamics of karst. This study aims to review dry valleys in karst systems, in order to observe the scientific potential of these areas for different applications. The review used the *Web Of Science* platform (*all bases*) as the main form of search, covering the period between 1945-2020, which addressed these features, using the following keywords: *karstic valley*, *dry valleys*, *blind valley*, *relict valley*, *ancient valley*, *fossil valley*, *solution valley*, *paleovalley* and *paleokarst valley*, resulting in twenty-seven studies, with several proposals for analysis, highlighting the factors involved in fluviocartic dynamics. The survey shows that there are few studies considering the extent of occurrence of carbonate rocks in the world, with a concentration of research on the European continent. In Brazil, despite having carbonate regions and the various areas mapped with the occurrence of caves, mainly in the cerrado biome, there is no research on the topic, even if they make it possible to identify the factors that influence the evolution of fluviocartic systems.

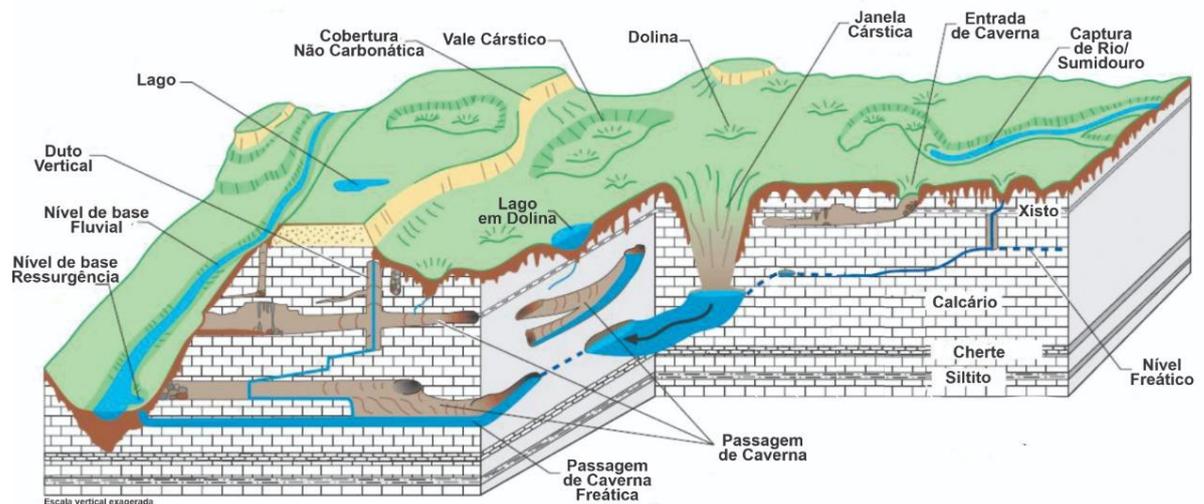
Keywords: Review. Karst. Valleys. Fluvial Deposits. Cerrado.

INTRODUÇÃO

As paisagens cársticas possuem um sistema geomorfológico diferente das outras devido ao papel da dissolução química do calcário (Figura 1) (FORD e WILLIAMS, 2007). O grau de desenvolvimento cárstico varia de região para região como resultado de condições climáticas, geológicas e do relevo. São áreas conhecidas por dispor de formas características a estes ambientes, contendo redes de drenagem subterrâneas e cursos sub-superficiais, normalmente com grande número de dolinas, *canyons* profundos, cursos de água allogênicos, sumidouros, cavernas, vales secos e outros (FORD e WILLIAMS, 2007; PALMER, 2007).

A carstificação é o processo de infiltração da água e dissolução da rocha, principalmente por mecanismos químicos, envolvendo a presença de água e ácido carbônico (HARMAND et al., 2017). Tais ambientes apresentam uma evolução geológica e geomorfológica complexa e fascinante, devido à dificuldade para entender todos os fatores que influenciam seu desenvolvimento como as conexões irregulares e complexas entre a superfície e o subsolo e fluxo de águas aparente (BENAC et al., 2013; BOČIĆ; PAHERNIK; MIHEVC, 2015; FORD e WILLIAMS, 2007; WOODSIDE; PETERSON; DOGWILER, 2015).

Figura 1 - Modelo ilustrativo da dinâmica fluviocárstica demonstrando diversas formas de conexão do sistema fluvial superficial e cárstico.



Fonte - Taylor e Greene, (2008)

O ambiente cárstico engloba características morfológicas e hidrológicas, superficiais e subterrâneas, que estão relacionadas ao processo de dissolução de rochas solúveis, como carbonatos e evaporitos, permitindo a ocorrência de formas típicas destes ambientes (GUTIÉRREZ et al., 2014). A conexão direta entre a superfície e os aquíferos subjacentes de alta permeabilidade torna os aquíferos cársticos extremamente vulneráveis à poluição apresentando problemas de instabilidade do solo. A falta de planejamento e gestão adequada levam à ocupação inapropriada destas áreas, gerando graves problemas ambientais (GUTIÉRREZ et al., 2014).

Regiões de transição morfológica que conjugam características fluviais e cársticas foram denominadas por White (1988) como fluviocársticas em que os cursos dos rios estão em parte superficiais e parte subterrâneos, podendo originar-se do carste ou não. Nos casos das áreas cársticas quando há ocorrência de sumidouro e o fluxo superficial fluvial é transferido para o subterrâneo, o antigo vale torna-se seco.

A importância de estudos voltados a sedimentos fluviais contidos em vales secos está na capacidade de oferecer informações sobre a dinâmica fluviocárstica local e a evolução geomorfológica regional, permitindo que tais conhecimentos viabilizem a conservação destes ambientes por meio da elaboração de um gerenciamento seguro e sustentável das regiões cársticas. Diante disso, observou-se a necessidade de reunir os trabalhos realizados em tais

feições, ressaltando a capacidade dos vales secos enquanto geoarquivos naturais capazes de resguardar sedimentos, os quais permitem entender a evolução dos paleoambientes e paisagens.

O estudo de vales secos abandonados em áreas cársticas é fundamental para o entendimento da dinâmica evolutiva destas paisagens. Desta forma, esta pesquisa busca reunir os artigos disponíveis na plataforma de busca *Web Of Science* (todas as bases de dados) que abordam a temática atingindo, assim, um período fornecido pela plataforma entre os anos 1945-2020, em todo o mundo. As palavras-chave de busca utilizadas foram: *Dry valleys, karst, sediments, fluvial, deposit, sink, terraces, river, paleodrainage, abandoned, sinkhole, paleochannels, knickpoint, blind valley, relict valley, ancient valley, fóssil valley, solution valley, paleovalley e paleokarst valley*. Tais termos foram buscados individualmente e em grupo, sendo checados todos os artigos que os contivessem.

Dessa maneira, foi possível reunir vinte e sete trabalhos sobre vales em área cárstica. Paralelamente, foram consultadas as referências existentes nos próprios artigos para identificar outros trabalhos e incorporados ao grupo. Demais trabalhos, principalmente os mais antigos, não se encontravam disponíveis para acesso eletronicamente não sendo, portanto, considerados.

O propósito deste estudo é revisar os tipos de denominações de vales em áreas cársticas reunindo os trabalhos existentes além de abordar os fatores influenciadores da dinâmica fluviocárstica. Por fim, apresentar possibilidades de estudos em fluviocarste do território brasileiro uma vez que dispõe de vastas áreas de ocorrência de rochas carbonáticas, possibilitado a existência de vales secos.

O bioma Cerrado destaca-se neste cenário apresentando as maiores áreas carbonáticas com potencial de estudo, que viabilize analisar as condições ambientais associadas a dinâmica fluviocárstica. De forma complementar, fora realizado um levantamento acerca dos registros climáticos no Cerrado do Brasil central durante o Holoceno Superior. Esta revisão faz parte do arcabouço teórico do projeto de doutoramento que está em desenvolvimento sobre vales secos no Cerrado do Brasil central.

TIPOLOGIAS DE VALES ASSOCIADOS AO SISTEMA FLUVIOCÁRSTICO

Processos de dissolução, erosão, incisão e aspectos estruturais das rochas carbonáticas levam a desvios de fluxo e transições de forma de relevo, entre fluxos de superfície canalizada (fluvial) e de subsolo concentrado (conduto cárstico) (PHILLIPS, 2018). Os desvios ocorrem por meio de sumidouros ou *ponor* (*sinkhole*), gerando a passagem (conexão) do sistema fluvial para o subterrâneo, que pode ocorrer de forma repentina (abrupta) ou lentamente. Com a carstificação sucessiva, a rede hidrográfica superficial se fragmenta com reorganização no subsolo. Formas que geram pontos de descarga do aquífero oferecendo água para os cursos superficiais são denominados surgências e ressurgências (TRAVASSOS, 2019). Outro processo comum durante a captura de um canal superficial para o sistema subterrâneo é a pirataria de fluxo (*flow piracy*). A compreensão de seus mecanismos pode levar a um melhor entendimento do registro geológico. O reconhecimento de que a pirataria de fluxo ocorreu no passado é comumente baseado em observações de vales secos, córregos decapitados (*beheaded*) e cotovelos de captura (PEDERSON, 2001; PHILLIPS, 2017).

A dinâmica fluviocárstica permite a formação de diversas feições associadas. Dentre eles destacam-se os tipos de vales que são depressões topográficas alongadas, abertas, inclinadas em uma determinada direção em toda a sua extensão, que pode ser ou não ocupada por água (TRAVASSOS; RODRIGUES; TIMO, 2015). De acordo com Travassos; Rodrigues; Timo (2015) vale cárstico é um vale fluvial escavado em regiões cársticas. Devido à elevada permeabilidade são, como regra, denominados vales secos ou vales cegos.

Vale cego (*Blind valleys*) trata-se de um vale fluvial que se fecha abruptamente à jusante, pelo fato de ocorrer uma barreira natural que, no entanto, não represa a água, mas sim a captura por meio de um sumidouro ou *ponor*. Neste caso toda água é drenada e desaparece durante todo o ano (TRAVASSOS, 2019; TRAVASSOS; RODRIGUES; TIMO, 2015). Já o oposto do que ocorre em um vale cego, ou seja, um vale escavado por um rio que seja alimentado por uma nascente ou surgência, é denominado vale fechado (*Pocket valleys*) (TRAVASSOS, 2019).

Vales secos (*Dry valleys*) são os vales fluviais sem rios, devido à água ter sido capturada para o sistema subterrâneo (Figura 3). Em alguns casos podem apresentar água intermitente em determinadas épocas do ano (BOCIC, 2003; BOČIĆ e BAČURIN, 2004; BOCIC; PAHERNIK; MIHEVC, 2015; TRAVASSOS, 2019). De acordo com Bauer (2008) seu *layout* e forma são,

portanto, “herdados” de outra época. Desse modo, os vales secos representam vestígios da antiga rede fluvial de superfície, ou seja, um traço morfológico do antigo fluxo de superfície (BOČIĆ e BAČURIN, 2004). Para Jennings (1985), Piló (2000), White, (1988) vales secos configuram testemunhos de antigo vale fluvial em que o curso atual ocorre no subterrâneo.

Vales secos sem cursos superficiais são umas das formas de relevo características de terrenos cársticos (BOCIC; PAHERNIK; MIHEVC, 2015; MONOD; KUZUCUOĞLU; OKAY, 2006; WARWICK, 1964). Os vales cársticos também são referidos como: vale seco, vale relíquia (remanescente), vale antigo, vale fóssil, vale de solução, paleovale e ainda vale paleocarste (ÖZTÜRK, 2020; ŞENER e ÖZTÜRK, 2019).

Em relação ao conceito de paleodrenagem, Conti (2012) evidencia que mudanças em grande escala nas características fluviais devem estar relacionadas a processos ambientais mais amplos que podem alterar a própria natureza do sistema de bacias. Conceitos como paleovale (*Paleovalley*) e paleocanal (*Paleochannel*) frequentemente são atribuídos a variações locais no sistema de drenagem (pequena escala).

Vales relíquias estão fortemente relacionados e são formados por uma combinação de processos cársticos e fluviais em que as fases tectônicas juntamente com o desenvolvimento fluvial e mudanças climáticas são os principais fatores que explicam a morfologia atual de acordo com estudos de Košutník (2007), Sauro (2013), Şener e Öztürk (2019); Öztürk (2020). Phillips (2017) afirma existirem formas que representam captura ou desvio de fluxo superficial para condutos incluindo vales secos cársticos e paleovales que são resultantes da pirataria cárstica. Pesquisas de reconhecimento são necessárias para compor evidências de que o vale nas proximidades da captura fluvial é de fato o paleovale do rio em questão, considerando fatores como: localização, alinhamento geral do depósito consistentes com o caminho anterior do rio; inclinação do depósito de acordo com os gradientes de inclinação do rio e a morfologia transversal (vale) consistente com o vale atual (JERIN e PHILLIPS, 2017).

O resultado deste processo de captura é o rebaixamento do nível de base do rio, causando, portanto, mudanças bruscas no gradiente de um perfil longitudinal, podendo formar uma queda d'água (*knickpoint*). A migração de nível de base geralmente afeta o processo na evolução do relevo e o desenvolvimento das cavernas, uma vez que os componentes dos sistemas fluviais e cársticos, e a drenagem regional estão ligados aos mesmos controles de nível de base (FABEL et al., 1996; FORD e WILLIAMS, 2007). Sendo assim, a compreensão dessas transições não é apenas relevante para os processos da evolução da paisagem fluvio-cárstica em si, mas também para a evolução da paisagem de forma mais ampla. No entanto, os processos geomórficos e os fluxos hidrológicos não são bem compreendidos em riachos controlados por leito de rocha ou em sistemas cársticos, em comparação com riachos aluviais e sistemas de águas subterrâneas não cársticas (PHILLIPS, 2017).

Transições fluviais superficiais para o domínio cárstico e subsuperficial (FC), e as transformações de carste para fluvial (CF) documentadas identificam várias mudanças nesse sistema (JAILLET et al., 2004; PHILLIPS et al., 2004; PHILLIPS e WALLS, 2004; WOODSIDE; PETERSON; DOGWILER, 2015; JERIN e PHILLIPS, 2017; ŞENER e ÖZTÜRK, 2019). Desta forma, paleovales secos, redes paleo-hidrográficas e suas relações com outras formas cársticas podem ser usadas para diversos tipos de estudos, dentre eles a reconstrução da evolução cárstica (PHILLIPS e WALLS, 2004; MONOD; KUZUCUOĞLU; OKAY, 2006; GIOIA et al., 2011; DE WAELE et al., 2012; BAI et al., 2013; BENAC et al., 2013).

A incisão do rio resulta no abandono das superfícies erosivas da planície de inundação, e as passagens das cavernas se desenvolvem durante os períodos de estabilidade do nível de base, podendo resultar na formação de terraços vinculados à migração de *knickpoint*, pois, formas antigas são exemplos que caracterizam a estabilidade na paisagem com baixas taxas de incisão. O sistema de drenagem subterrânea pode resultar na diminuição ou cessação do fluxo sobre os vales abandonados reduzindo as taxas de recuo. A estagnação dos *knickpoints* neste local significa que eles estão bem preservados e relativamente ajustados aos terraços fluviais preservados com os quais são geneticamente conectados (FABEL et al., 1996).

Ao longo do tempo foram compiladas características comuns que confirmam a ocorrência de capturas fluviais como os cotovelos de captura (*elbows of capture*), variedades de seixos rolados (*fluvial gravels*) existentes em seu vale e interrupções no perfil longitudinal do rio (*river profile*). Em algumas regiões, o desenvolvimento de terraços está associado a captura fluvial onde os rios podem ter sido os responsáveis pela deposição de material grosseiro em seu vale e podem oferecer pistas sobre a origem destes cascalhos, isto é, sua área fonte, no caso de uma captura fluvial.

Terraços também dão excelentes pistas para reconhecer mudanças no fluxo do rio. As inclinações dos depósitos do terraço refletem a direção do fluxo quando os sedimentos foram depositados. Se a direção dos depósitos do terraço diferir do canal atual, isto pode indicar uma captura fluvial. Se um depósito fluvial contém tipos de rochas não compatíveis com o rio atual, isto pode indicar que uma captura fluvial ocorreu anteriormente (ZAPROWSKI; EVENSON; EPSTEIN, 2002).

ESTUDOS DE VALES EM ÁREAS CÁRSTICAS

Registros aluviais apresentam um grande desafio, uma vez que a natureza da atividade fluvial determina que apenas fragmentos dos componentes depositados sobrevivem para posterior interpretação (MACKLIN; JOHNSTONE; LEWIN, 2005). No ambiente cárstico esta dificuldade pode ser superada uma vez que registros sedimentares podem ser resguardados em vales abandonados de acordo com a captura da rede de drenagem por meio de sumidouros ou dolinas.

Em seguida, dispomos do quadro contendo as pesquisas acessadas e a principal dinâmica envolvida na formação dos vales (Quadro 1).

Quadro 1 - Pesquisas realizadas sobre vales em áreas cársticas.

Estudos em paleovales em áreas cársticas					
Cód	Estudos	Tipo de Feição	Local	Objetivo	Dinâmica envolvida
1	(FABEL et al., 1996)	Vale Seco, Vale Cego	Buchan, Austrália	migração de <i>knickpoint</i> e desenvolvimento de cavernas	litologia e estrutura
2	(PHILLIPHS et al, 2004)	Vales abandonados, paleocanais	Kentucky Central-EUA	evolução divergente em paisagens fluvio-carste de Kentucky Central	parâmetros hidráulicos de energia
3	(MONOD et al., 2006)	Vales abandonados, Vales Secos, Vales Fósseis, paleovales, paleodrenagem	Touro Ocidental, Turquia	reconstrução de rede fluvial	eventos tectônicos e falhas
4	(KOŠUTNIK, 2007)	Vale Seco	Kras, Eslovênia	formação de vale seco e a origem do paleovale abandonado	erosão fluvial
5	(BENAC et al., 2013)	vales cársticos secos, rede fluvial (palaeo), vale cego	Ilha de Krk, Norte Adriático, Croácia	erosão fluvial na formação do sistema cárstico	atividade tectônica recente e condições climáticas variáveis
6	(BOČIĆ et al., 2015)	vales secos, paleodrenagem, paleovale, vale relíquia, vale cego	Korana, Croácia	evolução dos planaltos cársticos e a transição de uma paleodrenagem superficial para superfície cárstica	tectonismo
7	(WOODSIDE; PETERSON; DOGWILER, 2015)	vale cego	Kentucky, EUA	diferenças áreas de colapso de cavernas do entalhamento natural do sistema	eventos climáticos
8	(BAHTIJAREVIĆ e FAIVRE, 2016)	vales e terraços cársticos	Flórida, EUA	características morfométricas do relevo fluvial e cárstico e desnudação por processos morfogenéticos	condições climáticas
9	(TÎRLĂ et al., 2016)	vales secos íngremes (SDVs)	Cárpatos Meridionais, Romênia	análise geomorfológica e estrutural combinada de vales secos íngremes,	tectonismo

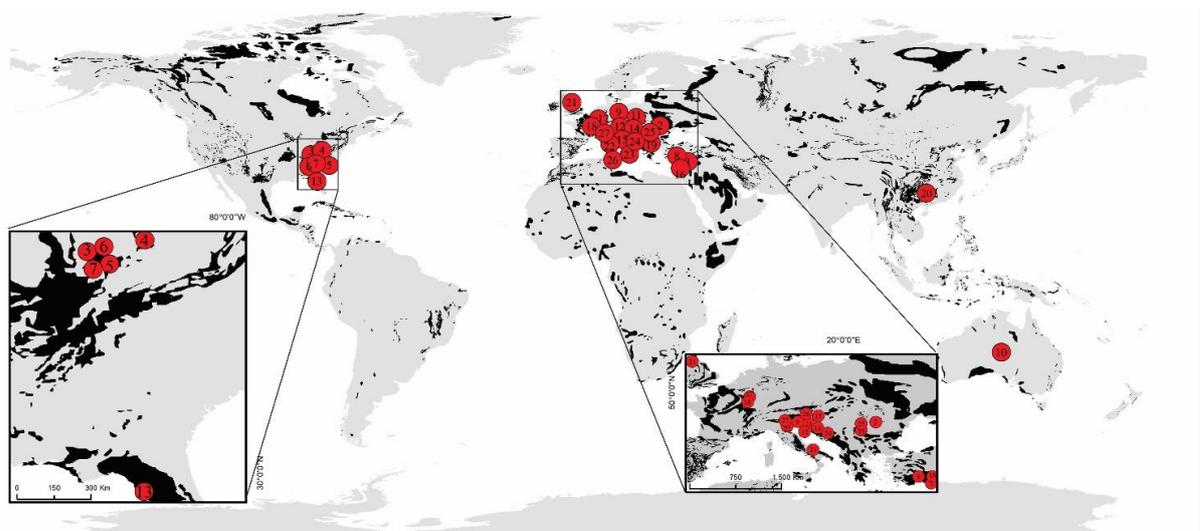
				evolução e morfologia	
10	(JERIN e PHILLIPS, 2017)	paleovale, paleocanal, vale seco, canal abandonado	Condado de Mercer, Centro de Kentucky, EUA	princípio de seleção de eficiência a nível local na escolha de caminhos mais eficientes em uma escala mais ampla	climático
11	(PHILLIPS, 2017)	vale seco, paleovale, paleocanais	Bluegrass Interior de Kentucky	identificação das formas terrestres associadas a transições fluvial a cársticas (vice-versa)	dissolução em canais e incisão geral
12	(PHILLIPS, 2018)	vales cársticos, vales de bolso	Centro de Kentucky, EUA	A contingência histórica na evolução de paisagens fluvio-cársticas	nível de base, heranças de períodos anteriores e controles ambientais
13	(ÖZTÜRK, 2020)	vales secos, vales relíquias, vales antigos, vales fósseis, vales de solução, paleovales e vales paleocarste	Central Taurus, Turquia	Evolução fluvio-cárstica	tectônicos e climáticos
14	(BOCIC, 2003)	vales cegos e secos (fósseis)	Planalto de Slunj, Croácia	Reconstrução da rede de paleodrenagem no Monte Miroc. (Sérvia Oriental)	influência neotectônica
15	(KOVAČIĆ, 2006)	vale seco	Aldeia Zagorje, Croácia	mapeamento dos processos de transformação do relevo no Pleistoceno	processos climáticos
16	(ŞENER e ÖZTÜRK, 2019)	paleovale, vale relíquia, vale seco	Taurus, Turquia	mapeamento e distribuição de vales relíquias ou não; e efeitos nas propriedades morfométricas das depressões	tectônica
17	(CORDIER et al., 2006)	vale relíquia, paleovale, vales secos	Taurus Central, Turquia	evolução dos sistemas de terraço fluvial	clima e forçantes tectônicas
18	(CORDIER et al. 2006)	terraço em vale	Paris, França	sistemas de terraço e a influência climática em sua formação.	mudanças climáticas
19	(PETROVIĆ; ČALIĆ; GAJOVIĆ, 2016)	vales secos, relíquias, paleodrenagem	Monte Miroč, Sérvia Oriental	análise morfológica dos vales secos e relíquias para interpretar a evolução morfológica	tectônica erosão fluvial
20	(ZENG et al., 2011)	vale fluvial	Bacia de Tarim, Oeste da China	reconhecimento de paleocavernas colapsadas em escala sísmica	episódios de movimentos tectônicos
21	(WARWICK, 1964)	vales secos	Pennines, Inglaterra	vales secos	climático

22	(SAURO, 2013)	vale cego, vale seco	Alpes Venezianos, Itália	formas de relevo da superfície cárstica a partir de uma perspectiva geomorfológica	climático e tectônico
23	(ROGLIC, 1964)	vale seco, vale cego, vale cárstico	Croácia	revisão sobre o uso de vale carstico para indicar vales secos, e sugerir a descontinuar o uso do termo "vale cárstico"	climático
24	(PARISE, 2011)	vales cársticos	Apulia, Itália	características morfológicas das características cársticas de superfície e subsuperfície	tectônico
25	(POVARĂ e CONOVICI, 2013)	vales relíquias, secos	Montanhas Mehedinti, Sul da Romênia	descrever as formas de relevo cársticas notáveis por sua particularidade, aspectos genéticos e morfológicos	climático e tectônico
26	(MIHEVC, 2007)	vale cego, vale seco	Eslovênia	reconstruir a evolução e estimar a idade da paisagem cárstica	climático e tectônico
27	(SAURO, 2002)	vale seco, vale relíquia, paleovale	Monti Berici, Alpes Do Sul	morfo-unidades cársticas	climático e tectônico

Fonte - WEB OF SCIENCE, 2020.

Com a compilação das pesquisas levantadas foi possível espacializar os estudos em conjunto com as áreas de ocorrência de rochas carbonáticas no mundo (Figura 2), por meio da metodologia aplicada, permite observar pouca quantidade de estudos, havendo certa concentração dos mesmos em algumas regiões do globo, como na América do Norte, especificadamente em Kentucky, Flórida (Estados Unidos), mas também na Croácia, Eslovênia na Europa Oriental e na Turquia (Leste da Europa) e, somente um estudo na Austrália e na China.

Figura 2 - Espacialização dos estudos realizados em vales em áreas Cársticas.



Legenda

- Estudo com Vales em áreas cársticas
- Ocorrência de Rochas Carbonáticas no Mundo

Sistema de Coordenadas: Sirgas2000
 Web of Sience (2020)
http://web.env.auckland.ac.nz/our_research/karst/#karst6

Fonte - WEB OF SCIENCE, 2020; WILLIAMS e TING, 2010.

FATORES INFLUENCIADORES DA DINÂMICA FLUVIOCÁRSTICA

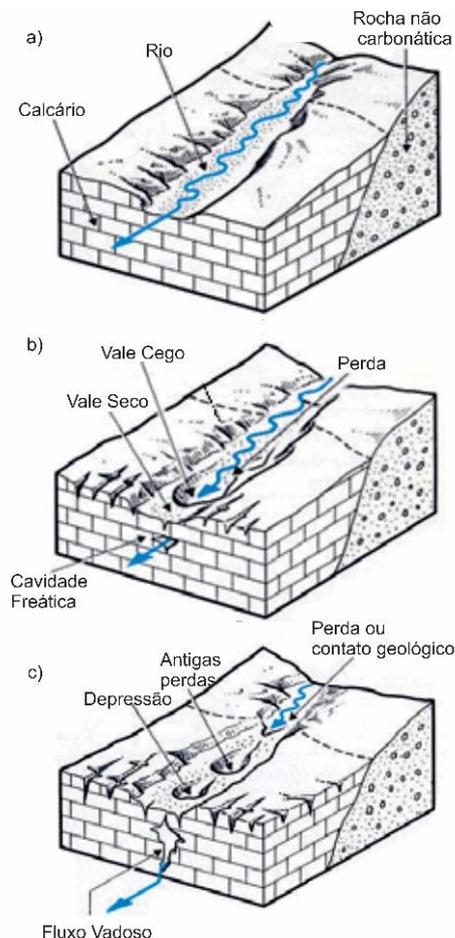
O sistema fluviocárstico é influenciado por forças externas (clima, tectônica), que iniciam mudanças nos regimes fluviais, carstificação, declives regionais e nível da base. Os controles como litologia, estrutura e vegetação também são relevantes. Por ocorrência de perda de fluxo da superfície para rotas subterrâneas, existem ambientes que apresentam áreas ricas em carste com poucos canais fluviais e áreas ricas em canais e menos cársticas (PHILLIPS e WALLS, 2004).

Os planaltos cársticos geralmente apresentam uma evolução geológica e geomorfológica complexa. É amplamente aceito que seu desenvolvimento requer uma denudação cárstica duradoura por um período tectônico relativamente estável (FORD e WILLIAMS, 2007).

A litologia carbonática quando em clima úmido predispõe a paisagem à dissolução e carstificação, com alargamento irreversível dos condutos, embora possa ocorrer algum entupimento (reversível) por sedimentos depositados. Depois que os condutos e as cavidades subterrâneas são formados é inevitável algum colapso da superfície. Gradientes topográficos localmente íngremes associados à dolinas, etc., combinados com o clima úmido e solos finos e argilosos, provocam escoamento superficial, levando à modificação da topografia superficial por erosão de encostas (PHILLIPS, 2018).

Um modelo de formação do relevo cárstico foi proposto por David Drew (1985) ilustrando que o fenômeno se desenvolve quando águas e seus componentes químicos circulam por fraturas de rochas solúveis. Esculpindo primeiramente as rochas superficiais e se infiltrando profundamente, criando redes de condutos subterrâneos. A dissolução é o principal processo de intemperismo químico, tornando-se fundamental para explicar o carste (Figura 3).

Figura 3 - Exemplo de evolução do relevo cárstico.



Fonte - David Drew (1985).

As características de drenagem dependem da espessura e da distribuição espacial das litologias solúveis, e frequentemente os cursos de drenagem subterrânea estão presentes em uma mistura chamada fluvio-carste. Paisagens dominadas por carste são convertidas para domínios fluviais à medida que os condutos subterrâneos ficam obstruídos. Com a remoção da rocha solúvel na bacia hidrográfica ou com a dissecção fluvial, ocorre a captura que exuma a drenagem subterrânea. Paisagens dissecadas fluvialmente em áreas propensas ao carste podem ser transformadas gerando formas, como dolinas, que capturam a drenagem da superfície a partir da solução dentro dos canais. O equilíbrio entre a drenagem fluvial e cárstica é frequentemente dependente das condições ambientais locais (PHILLIPS e WALLS, 2004).

Desta forma, apresentamos a seguir as explicações sobre o desenvolvimento fluvio-cársticos abordados nos estudos levantados, agrupando-os de acordo com a influência tectônica com 7 estudos, climática com 13 e por fim com ambas 9.

Estudo de sedimentos contidos em paleovales, no Touro ocidental da Turquia, com rastreamento de seixos, permitiu que Monod; Kuzucuoğlu; Okay (2006) observassem que grandes eventos tectônicos resultaram em uma série de falhas que influenciaram o sistema de drenagem. Tais eventos foram responsáveis pela extensa circulação cárstica atual, que deixou abandonados relictos da antiga morfologia da cadeia cárstica.

Bočić; Pahernik; Mihevc (2015) observaram que o desenvolvimento da rede de drenagem superficial no carste do planalto de Una-Korana (Croácia) está atrelado ao baixo gradiente hidráulico em relação ao nível da base erosional na bacia, e a existência de sedimentos impermeáveis. Devido ao gradiente hidráulico associado a tectônica, os rios começaram a cortar a paisagem levando a diminuição no nível do lençol freático. A rede de drenagem ativa passou gradualmente para uma rede seca e depois para uma rede de descarga sendo gradualmente substituída por dolinas. A área fluvial carstificada passou a ser drenada no subsolo.

Vales secos cársticos foram analisados por Tîrlă; Mirea; Vijulie (2016) no Cárpatos Meridionais (Romênia) a fim de estimar o controle geomórfico na evolução do regime, demonstrando que o controle estrutural na base morfológica da escarpa, concluindo que a distribuição espacial e o desenvolvimento dos vales secos, bem como o processo de recuo da escarpa, são controlados por lineamentos tectônicos.

O estudo desenvolvido por Košutnik (2007) afirma que o paleovale estudado em Mali Dol, Kras (Eslovênia) foi gerado por meio de erosão fluvial e a área de meandros exclui sua origem tectônica. Tal fato permitiu que o vale, no passado ativo, atualmente esteja seco.

Horn Hollow, um vale fluvio-carste localizado no nordeste do Kentucky, Estados Unidos, estudado por Woodside; Peterson; Dogwiler (2015), permitiu observar que os eventos climáticos como os glaciais podem favorecer a ocorrência de períodos de rápido entrincheiramento e flutuações no fluxo dos rios diminuindo o nível da base nas áreas de cavernas, uma vez que a água normalmente busca caminhos mais rápidos para o novo nível de base. A água pode ter acompanhado as fraturas na rocha subjacente, expondo-as a maior dissolução, resultando na formação de cavernas. Tais eventos contribuíram drasticamente com a morfologia transformando-a em algo semelhante ao atual na área estudada.

Um estudo na Flórida (Estados Unidos) realizou análises geomorfológicas comparativas de dois diferentes relevos (fluvial/cárstico) com base em parâmetros morfométricos, considerando a suposição de estabilidade relativa das condições tectônicas. O resultado indicou que o relevo fluvial apresenta valores gerais mais altos dos parâmetros morfométricos comparado ao relevo cárstico. Sendo consequência de taxas duas vezes mais altas de desnudação fluvial em comparação com as taxas de desnudação cárstica. Dessa forma, demonstra-se que o processo fluvial pode ser mais eficaz que os respectivos processos cársticos, sob as mesmas condições climáticas. As taxas de desnudação do carste demoram a ser refletidas nos parâmetros morfométricos devido à resposta morfológica mais lenta (BAHTIJAREVIC e FAIVRE, 2016).

Estudo em terraços de Cordier et al., (2006) em Paris, França na área do vale resultante do processo de junção do Alto Morselle ao Vale Mosa e mais tarde capturado pelo Paleo-Meurthe (LOSSON e QUINIF, 2001) demonstrou que o modelo de resposta fluvial obtido se aproxima dos descritos na Europa, no qual as transições climáticas (quente-frio e secundariamente frio-quente) estão associadas a fases erosivas.

Fabel et al. (1996) mostraram que a litologia e a estrutura afetam significativamente o alinhamento dos rios e suas formas de vales no carste Buchan, sudeste da Austrália. Phillips e Walls (2004) em Kentucky (Estados Unidos) também observaram que uma pequena variação na litologia, estrutura, microclima etc. podem causar evolução divergente do sistema fluviocárstico. Concluíram que o desenvolvimento de características cársticas vs. fluviais é sensível às variações locais muito pequenas que implicam na evolução em direção ao domínio cárstico ou fluvial.

Benac et al. (2013) avalia dois vales cársticos secos com áreas litologicamente similares em Taurus (Turquia). No entanto, com diferentes tipos de relevo cárstico pois uma apresenta massa rochosa intensamente deformada devido a presença de atividade tectônica recente mais evidente do que a outra. As condições climáticas variáveis também influenciaram a morfologia final do relevo. O baixo nível do mar durante a última era glacial, juntamente com um clima úmido, poderia ter causado a reativação do processo fluvial nas partes íngremes a jusante dos vales cársticos.

O desenvolvimento de sistemas fluviais e cársticos é governado por princípios que podem ser abrangidos pelo princípio de seleção de eficiência (rotas de fluxo mais eficientes tendem a ser preferencialmente selecionadas e aprimoradas). Contudo, uma violação aparente desse princípio, ou seja, um caminho mais curto e mais íngreme foi trocado por um canal mais longo e menos acentuado, como constatado no estudo de Jerin e Phillips (2017) em Kentucky (Estados Unidos). Os autores explicam que aparentemente isso ocorreu devido à captura do fluxo por um conduto cárstico subsuperficial que foi posteriormente exumado. Tal situação ilustra a natureza local da seleção de eficiência e o papel da contingência histórica na evolução geomórfica, ou seja, a herança de características de períodos anteriores de formação ou conjuntos de controles ambientais condicionalidade e instabilidade dinâmica (PHILLIPS, 2018).

Phillips (2017) ressalta que a dissolução em canais de córregos controlados por leito rochoso é a causa mais comum que leva às transições fluviais para cársticas, enquanto a incisão geral gerada pela redução do rio é o principal responsável pelas transições de carste para fluvial. A evolução fluviocárstica analisada foi entendida como um reforço mútuo, em que a dissecação fluvial pode ser intensificada devido às características cársticas e a carstificação é reforçada pela incisão do fluxo. Tal equilíbrio indica que mudanças locais e condições que alterem as condições de umidade, alívio local, capacidade de transporte de canal ou declives hidráulicos, provavelmente persistirão e crescerão, resultando em transições hidrogeomórficas.

Diante do exposto sobre os principais fatores influenciadores da dinâmica do sistema fluviocárstico, observa-se que o clima e tectonismo são forças que interferem diretamente nos regimes fluviais da carstificação, nos declives regionais e no nível da base.

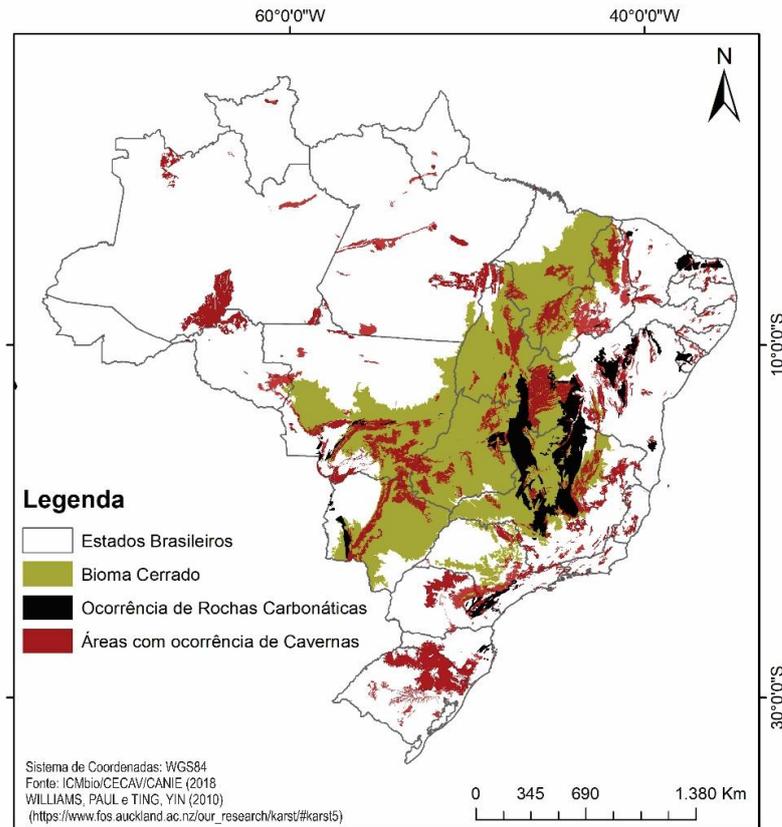
Na maioria dos estudos prevalecem como principais influenciadores da evolução fluviocárstica processos de erosão, dissolução e incisão fluvial. Processos tectônicos influenciam especificadamente em determinadas áreas que não estão relativamente estáveis (FORD e WILLIAMS, 2007). Em áreas com estabilidade tectônica, a evolução fluviocárstica sofre influências de litoestruturas e do clima que são expressos no padrão da sedimentação fluvial.

Períodos climáticos mais úmidos podem adicionar energia para o sistema à medida que a recarga aumentada faz com que os níveis de água subterrânea subam, acelerando a pirataria de fluxo (PEDERSON, 2001).

POSSIBILIDADES DE ESTUDOS ESTRATIGRÁFICOS EM FLUVIOCARSTES DO CERRADO BRASILEIRO.

Por meio do levantamento efetuado, observou-se que depósitos fluviais em vales secos correlacionados ao sistema fluviocárstico podem ser importantes geoarquivos ambientais para estudos com diversos enfoques. A Figura 4 conta com a espacialização das áreas de ocorrência de cavernas no Brasil, de acordo com ICMBio, CECAV e CANIE (2018) além de áreas de rochas carbonáticas (FORD e WILLIAMS, 2007), ou seja, áreas suscetíveis a presença de vales secos devido a captura subterrânea. No entanto, considerando os critérios do levantamento realizado não foi possível identificar estudos no território brasileiro, mesmo possuindo relevantes áreas cársticas com diversos estudos em outros enfoques do carste (AULER e SMART, 2001; PILÓ et al., 2005; AULER, et al., 2009; LAUREANO et al., 2016; NOVELLO et al., 2019; CALDEIRA, et al., 2021 dentre outros.), além de dolinas, conforme demonstra Ferreira (2019); Ferreira e Uagoda (2020).

Figura 4 - Contexto geográfico brasileiro e do bioma com as áreas de ocorrência de cavernas e carbonáticas.



Fonte - ICMBio; CECAV; CANIE (2018); WILLIAMS e TING (2010).

Oliveira (2010), faz uma revisão sobre capturas fluviais no Brasil, identificando dez estudos e, nenhum deles, no carste. O estudo ressalta que tais eventos fluviais podem ser resultantes de eventos climáticos, geomorfológicos e geológicos, tendo a água como fenômeno acelerador da erosão e das capturas fluviais e podendo incidir em diversas escalas. Nas linhas de drenagem preservadas é possível identificar e traçar a evolução do relevo local. As capturas fluviais são peças chave para o entendimento da evolução do relevo e, ainda hoje, são pouco estudadas por pesquisadores brasileiros e estrangeiros.

Dispondo dos bancos de dados sobre ocorrência de áreas cársticas no Brasil, observa-se que o bioma Cerrado no Brasil central dispõe de boa parte destas áreas com destaque para as ocorrências emersas do Grupo Bambuí. Desta forma, há grande potencial para desenvolver estudos envolvendo vales secos. De acordo com Auler et al. (2009) em áreas tectonicamente estáveis, como o Cráton São Francisco, eventos climáticos podem afetar cavernas alimentadas com dolinas por vários ciclos climáticos antes que o local se torne inativa.

O bioma Cerrado dispõe de uma extensão territorial com cerca de 2 milhões de km², sendo o segundo maior bioma dos neotrópicos, abrigando cabeceiras das principais bacias hidrográficas do país: Paraná; Paraguai; Amazônica; Parnaíba e São Francisco (CASSINO et al., 2020). Apesar disso, o Cerrado dispõe de raros estudos de sedimentos fluviais superficiais, que buscam a interpretação da evolução do relevo com base em condições paleo-hidroológicas (TURCQ et al., 1997).

Estudo dos depósitos permitem estabelecer a história evolutiva dos climas atuantes no intervalo de tempo identificado (STEVANUX, 2000). As condições paleo-hidroológicas também permitem analisar a geologia e geomorfologia para reconstruir a história ambiental (VALENTE e LATRUBESSE, 2012). A determinação do ambiente deposicional fornece dados para interpretação da evolução dos terraços fluviais, o que permite correlacioná-los com oscilações climáticas (DIAS e PEREZ FILHO, 2015). Depósitos fluviais podem também fornecer respostas sobre a capacidade do homem potencializar os processos até então ditos naturais, interpretando as transformações ocasionadas pela ação antrópica nos canais fluviais (VALÉZIO e PEREZ FILHO, 2015).

O clima é uns dos principais influenciadores da dinâmica do sistema fluviocárstico, uma vez que determina a disponibilidade hídrica que está diretamente relacionada com processos de dissolução das rochas carbonáticas. Depósitos fluviais em vales secos, portanto, podem contribuir como arquivos paleoclimáticos além de permitirem interpretar a evolução do fluviocarste, quando vistos regionalmente.

De acordo com Conti (2009), variações dos padrões de drenagem em sistemas a montante estão relacionadas às mudanças climáticas, e sua associação com processos e os padrões de construção de terraço marginal em períodos glaciais (em contraste aos processos de incisão em períodos interglaciais). As condições climáticas não afetam apenas o regime hidrológico, mas também atuam em fatores como a cobertura vegetal, processos de intemperismo (disponibilidade de sedimentos) e transporte de sedimentos. Dessa forma, estudo de sedimentos fluviais resguardados em vales secos podem contribuir substancialmente para compreender a relação climática com processos de evolução da paisagem no sistema fluviocárstico. Pois, as formas fluviocársticas se desenvolvem principalmente nos primeiros estágios da carstificação em áreas de chuvas intensas, quando a descarga em um sistema cárstico excede a capacidade do sistema de condutos (DREYBRODT e GABROVŠEK, 2003).

Estudos de reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) foram realizados no Cerrado do Brasil Central utilizando pólenes depositados em sedimentos lacustres e turfeiras. Os estudos têm tido dificuldade em caracterizar o clima referente aos últimos três mil anos antes do presente (A.P) no Cerrado. Isso pode ser observado em Cromínia (GO) que não apresenta registros dos últimos 3.500 anos (FERRAZ-VICENTINI e SALGADO-LABORIAU, 1996), da mesma forma em Salitre (GO) (LEDRU, 1993), São José (MG) e Lagoa Feia (GO) (CASSINO et al., 2020).

Nas veredas de Águas Emendadas, Distrito Federal, Barberi et al. (2000); Lagoa do Caçó (MA) (LEDRU et al., 2006), identificou-se a ocorrência de um clima quente e semi-úmido, semelhante ao atual que se instalou em 8.000 anos cal. AP e permaneceu até o presente. Tal padrão foi confirmado por Behling (2002) na Lagoa do Confusão (TO).

Demais estudos de Cassino e Meyer (2013) tem caracterizado a segunda metade do Holoceno como relativamente mais úmido, conforme demonstra a Vereda Laçador (MG) a partir de 2.000 anos cal A.P. No mesmo sentido estudo na Serra do Espinhaço (MG) mostra queda da umidade e das temperaturas por volta de 2.900 anos A.P (HORÁK-T et al., 2018). No Lago do Pires (MG), condições úmidas prevaleceram durante a segunda metade do Holoceno e entre 2.900 anos cal A.P e o presente, com condições ainda mais úmidas (BEHLING, 1995). Tais características são corroboradas com o registro de Lagoa Nova (MG) (BEHLING, 2003). Em Carajás (PA), observou-se que a fase seca prevaleceu até 3.100 anos A.P, posteriormente estabelecendo vegetações que ocorrem atualmente (ABSY et al., 1991). Na Lagoa de Serra Negra (MG) é comprovado que a partir de 1.200 anos cal AP, se instalou um clima mais úmido semelhante ao atual. Outro registro palinológico diz respeito a Lagoa Santa (MG) que demonstra, entre 3.600 e 1.700 anos cal AP a instalação de um clima mais úmido com aumento da umidade a partir de 5.500 anos cal AP (PARIZZI; SALGADO-LABOURIAU; KOHLER, 1998).

No geral os estudos têm demonstrado condições mais úmidas durante a segunda metade do Holoceno, semelhante ao atual. Meyer et al. (2014) identificou aumento da umidade a partir de 5 mil anos por meio da junção de estudos anteriores. No entanto, no sítio Lagoa dos Mares, região de Belo Horizonte/MG, foram achados indícios de um clima mais sazonal (com uma estação seca mais pronunciada) entre aproximadamente 4.000 e 2.700 anos cal. AP (RACZKA et al., 2013).

Registros isotópicos de espeleotemas em cavernas localizadas no Cerrado do Brasil central identificaram no norte de Minas Gerais (Lapa Grande / Lapa Sem Fim) durante o Holoceno, eventos abruptos de aumento de precipitação centrados em 3.7, 3.1, 2.7, 2.3 e 1.7 mil anos A.P (STRÍKIS, 2015; NOVELLO et al., 2017, 2019). Stríkis (2011) sugere que diferentes mecanismos climáticos dos eventos do Holoceno associados ao contexto climático do glacial são substituídos por condições do interglacial, explicando essa variação.

Ainda no Norte de Minas Gerais, na Lapa dos Anjos, uma estalagmite cobre um intervalo de 5.8 mil anos. Esse intervalo até então não foi explorado nas reconstituições da paleoprecipitação do Brasil central, podendo oferecer maior detalhamento dos últimos 3 mil anos. Sendo possível referenciar os intervalos compreendidos pela Anomalia Climática Medieval (ACM) e a Pequena idade do Gelo (LIA, da sigla em inglês para *Little Ice Age*) ficando definido para a LIA o intervalo de tempo entre 1450 – 1740 EC e, para a ACM, o intervalo entre 975 – 1130 EC. Parte da LIA corresponde ao

Bond 1 (1,1-1,5 mil anos A.P), que integram aos “eventos Bond” períodos de resfriamento abrupto (BOND et al., 1997). Esse respondeu de forma acentuada com uma fase úmida identificada na região centro-leste e parte central da Bahia (NOVELLO et al., 2012).

Ainda no Holoceno identificaram-se eventos quentes como a ACM existente entre os anos 950 e 1,250 AP. Descreve-se um aquecimento no qual as temperaturas da Europa atingiram os níveis mais quentes dos últimos 4000 anos (MANN et al., 2009; STRÍKIS e NOVELLO, 2014).

Diante do exposto sobre os registros climáticos do Brasil Central, é ressaltada a relevância de se estudar sedimentos fluviais resguardados em vales secos de diversas idades nessa região, que podem demarcar períodos específicos de variações climáticas que influenciam a dinâmica fluvio cárstica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento dos estudos envolvendo vales secos em áreas cársticas demonstrou que ainda são poucas as pesquisas que exploram essas feições, que ocorrem em diversas áreas da superfície terrestre. Os estudos analisados deixam claro o potencial de tais feições para serem alvos de diversas análises geomorfológicas tanto em escala local, envolvendo o entendimento da dinâmica fluvio cárstica, quanto em escala regional para compreensão da evolução na paisagem. O abandono repentino destes vales permite que eles resguardem sedimentos que vinham sendo transportados até o momento da captura do rio. A proposta também evidencia os fenômenos que influenciam a dinâmica fluvio cárstica e condições associadas ao tectonismo e o clima. Em cenários de tectonismo inexistente, o fator clima e estruturas, neste caso, podem ter mais influências. Dados paleoclimáticos podem oferecer subsídios para evidenciar as contribuições do clima nos processos de evolução da paisagem. De acordo com este levantamento, a maioria dos estudos evidenciaram influências climáticas.

Estudos envolvendo caracterização climática e vegetação têm sido desenvolvidos nas vastas áreas carbonáticas localizadas nos Cerrados do Brasil central. Essas pesquisas, porém, têm demonstrado dificuldade para estabelecer registros das condições climáticas durante o Holoceno Superior. Portanto, diante da capacidade de resguardar sedimentos em vales secos nas áreas cársticas, pode-se trazer novos dados necessários para cobrir tais reconstruções paleoambientais por meio do conhecimento da dinâmica climática de eventos correlatos ao período do Holoceno Superior, bem como suas influências na dinâmica da paisagem.

A construção de uma pesquisa científica se consolida a luz das obras anteriores com o levantamento minucioso acerca da temática, em plataformas robustas dispondo das palavras-chave que permitem a compilação, bem como o entendimento fundamental para interpretações e discussões dos resultados alcançados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB) que forneceu estrutura para a realização da pesquisa. Agradecem também ao fomento obtido pelo TCCE 01/2018 Vale/ICMBio.

REFERÊNCIAS

ABSY, M; CLEEF, A; VAN DER HAMMEN, T; FOURNIER, M; MARTIN, L; SERVANT, M; SIFEDDINE, A; FERREIRA DA SILVA, M; SOUBIES, F; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, **Sciences de La Terre**, 312(6), 673–678, 1991.

AULER, A. S; SMART, P. L. Late quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research**, 55(2), 159–167, 2001. <https://doi.org/10.1006/qres.2000.2213>

- AULER, A. S; SMART, P. L; WANG, X; PILÓ, L. B; EDWARDS, R. L; CHENG, H. Cyclic sedimentation in Brazilian caves: Mechanisms and palaeoenvironmental significance. **Geomorphology**, 106(1–2), 142–153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.020>
- BAHTIJAREVIC, A; FAIVRE, S. Quantitative comparative geomorphological analysis of fluvial and karst relief of Florida. **Environmental Earth Sciences**, 75(428), 2–20, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5397-8>
- BAI, X; ZHANG, X; LONG, Y; LIU, X; SIYU, Z. Use of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pbex measurements on deposits in a karst depression to study the erosional response of a small karst catchment in Southwest China to land-use change. **Hydrological Processes**, 27(6), 822–829, 2013. <https://doi.org/10.1002/hyp.9530>
- BARBERI, M; SALGADO-LABOURIAU, M. L; SUGUIO, K. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Aguas Emendadas”, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 13(3), 241–254, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00022-5)
- BAUER, J. Un peu de karsto pour les spéléos. **Info EFS**, 16(2), 16-26, 2008.
- BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, 14, 253–268, 1995.
- BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeo**, 177, 19–27, 2002.
- BEHLING, H. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. **Vegetation History and Archaeobotany**, 12(4), 263–270, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00334-003-0020-9>
- BENAC, Č; JURAČIĆ, M; MATIČEC, D; RUŽIĆ, I; PIKELJ, K. Fluviokarst and Classical Karst: Examples from the Dinarics (Krk Island, Northern Adriatic, Croatia). **Geomorphology**, 184, 64–73, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.016>
- BOCIC, N. Relation between karst and fluviokarst relief on the slunj plateau (croácia). **Acta Carsologica**, 11, 137–146, 2003.
- BOČIĆ, N; BAČURIN, Ž. Geomorphological conditions of the genesis of the ponor jovac cave (Croatia). **Acta Carsologica**, 6(33/2), 107–113, 2004.
- BOCIC, N; PAHERNIK, M; MIHEVC, A. Geomorphology Geomorphological significance of the palaeodrainage network on a karst plateau: The Una – Korana plateau , Dinaric karst , Croatia. **Geomorphology**, 247, 55–65, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.028>
- BOND, G; SHOWERS, W; CHESEBY, M; LOTTI, R; ALMASI, P; PRIORE, P; CULLEN, H; HAJDAS, I; BONANI, G. A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. **Science**, 278, 1997. <https://doi.org/10.1126/science.278.5341.1257>
- CALDEIRA, D; UAGODA, R; NOGUEIRA, A. M; GARNIER, J SAWAKUCHI, A. O; HUSSAIN, Y. Late Quaternary episodes of clastic sediment deposition in the Tarimba Cave, Central Brazil. **Quaternary International**, 580, 22–37, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.01.012>
- CASSINO, R. F LEDRU, M. P; SANTOS, R. DE A; FAVIER, C. Vegetation and fire variability in the central Cerrados (Brazil) during the Pleistocene-Holocene transition was influenced by oscillations in the SASM boundary belt. **Quaternary Science Reviews**, 232, 106-209, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106209>
- CASSINO, R. F; MEYER, K. E. B. Reconstituição paleoambiental do chapadão dos gerais (Quaternário tardio) a partir da análise palinológica da vereda Laçador, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 16(1), 127–146, 2013. <https://doi.org/10.4072/rbp.2013.1.10>
- CONTI, L. A. Paleodrenagens na plataforma continental da região de São Sebastião (Litoral Norte do estado de São Paulo). São Paulo: **Revista Brasileira de Geomorfologia** – v.10 n.2, 45–55, 2009.
- CONTI, L. A. Paleodrainage Systems. In: JAVAID, M. S. **Drainage Systems**. São Paulo: Escola de Artes Ciências e Humanidades – USP (3–20) 2012.
- CORDIER, S; HARMAND, D; FRECHEN, M; BEINER, M. Fluvial system response to Middle and Upper Pleistocene climate change in the Meurthe and Moselle valleys (Eastern Paris Basin and Rhenish Massif).

- Quaternary Science Reviews**, 25(13–14), 1460–1474, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.11.007>
- DE WAELE, J; FERRARESE, F; GRANGER, D; SAURO, F. Landscape evolution in the Tacchi area (Central-East Sardinia, Italy) based on karst and fluvial morphology and age of cave sediments. **Geografia Física e Dinâmica Quaternária**, 35(2), 119–127, 2012. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2012.35.11>
- DIAS, R. L; PEREZ FILHO, A. Geocronologia de terraços fluviais na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí-SP a partir de Luminescência Ópticamente Estimulada (LOE). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 16(2), 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i2.644>
- DREW, D. **Karst Processes and Landforms**. Londres: Macmillan Education, 1985.
- DREYBRODT, W; GABROVŠEK, F. Basic processes and mechanisms governing the evolution of karst. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**. 115–154, 2003.
- FABEL, D; HENRICKSEN, D; FINLAYSON, B. L; WEBB, J. A. Nickpoint recession in karst terrains: An example from the Buchan Karst, Southeastern Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, 21(5), 453–466, 1996.
- FERRAZ-VICENTINI, K. R; SALGADO-LABORIAU, L. M. L. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 9(3–4), 207–209, 1996.
- FERREIRA, C. F; UAGODA, R. Tipologias do carste e classificações de dolinas: uma revisão. **Caminhos de Geografia**, 20(70), 519–537, 2019.
- FERREIRA, C. F; UAGODA, R. E. S. Um Panorama Sobre Mapeamentos de Dolinas no Brasil, Feições Elementares do Carste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 02, 133–139, 2020.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. Second ed. Chichester: Wiley, 2007. 562p. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- GIOIA, D; SABATO, L; SPALLUTO, L; TROPEANO, M. Fluvial landforms in relation to the geological setting in the “Murge Basse” karst of apulia (Bari metropolitan Area, Southern Italy). **Journal of Maps**, 7, 148–155, 2011. <https://doi.org/10.4113/jom.2011.1136>
- GUTIÉRREZ, F; PARISE, M; WAELE, J. DE; JOURDE, H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. **Earth Science Reviews**, 138, 61–88, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002>
- HARMAND, D; ADAMSON, K; RIXHON, G; JAILLET, S; LOSSON, B; DEVOS, A; HEZ, G., CALVET, M; AUDRA, P. Relationships between fluvial evolution and karstification related to climatic, tectonic and eustatic forcing in temperate regions. **Quaternary Science Reviews**, 166, 38–56, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.02.016>
- HORÁK-T, I; SCHELLEKENS, J; HORÁK-TERRA, I; BUURMAN, P; CHRISTÓFARO, A. Holocene vegetation and fire dynamics in central-eastern Brazil: Molecular records from the Pau de Fruta peatland. **Organic Geochemistry**, 77, 32–42, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2014.08.011>
- ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas; CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. **Detalhamento dos dados das Cavernas**. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. (2018). Acesso em: 07 de março de 2021.
- JAILLET, S; PONS-BRANCHU, E; BRULHET, J; HAMELIN, B. Karstification as geomorphological evidence of river incision: The karst of Cousance and the Marne valley (eastern Paris Basin). **Terra Nova**, 16(4), 167–172, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2004.00544.x>
- JENNINGS, J. N. **Karst Geomorphology**. Orxford: Basil Blackwell, 1985. 293p.
- JERIN, T; PHILLIPS, J. Local efficiency in fluvial systems: Lessons from Icicle Bend. **Geomorphology**, 282, 119–130, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.013>
- KOŠUTNIK, J. Questions of dry valleys in Karst: Case study of Mali dol, Kras (Slovenia). **Acta Carsologica**, 36(3), 425–431, 2007. <https://doi.org/10.3986/ac.v36i3.176>

- KOVAČIČ, G. Relief evolution in the hinterland of the Pivka river, **Acta Geographica Slovenica**, v. 46, n. 1, p. 33–55, 2006.
- LAUREANO, F. V.; KARMANN, I.; GRANGER, D. E.; AULER, A. S.; ALMEIDA, R. P.; CRUZ, F. W.; STRÍCKS, N. M.; NOVELLO, V. F. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. **Geomorphology**, 273, 63–77, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.009>
- LEDRU, M. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, 39(90–89), 9, 1993.
- LEDRU, M. P.; CECCANTINI, G.; GOUVEIA, S. E. M.; LÓPEZ-SÁEZ, J. A.; PESSENDA, L. C. R.; RIBEIRO, A. S. Millennial-scale climatic and vegetation changes in a northern Cerrado (Northeast, Brazil) since the Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Reviews**, 25(9–10), 1110–1126, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.10.005>
- LOSSON, B.; QUINIF, Y. La capture de la Moselle. Nouvelles données chronologiques par datations U/Th sur spéléothèmes. **Karstologia. Revue de Karstologie et de Spéléologie Physique**, 37(1), 29–40, 2001. <https://doi.org/10.3406/karst.2001.2469>
- MACKLIN, M. G.; JOHNSTONE, E.; LEWIN, J. Pervasive and long-term forcing of Holocene river instability and flooding in Great Britain by centennial-scale climate change. **Holocene**, 15(7), 937–943, 2005 <https://doi.org/10.1191/0959683605hl867ft>
- MANN, M. E.; ZHANG, Z.; RUTHERFORD, S.; BRADLEY, R. S.; HUGHES, M. K.; SHINDELL, D.; AMMANN, C.; FALUVEGI, G.; NI, F. Global signatures and dynamical origins of the little ice age and medieval climate anomaly. **Science**, 326(5957), 1256–1260, 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1177303>
- MEYER, K. E. B.; CASSINO, R. F.; LORENTE, F. L.; RACZKA, M.; PARIZZI, M. G. Paleoclima e paleoambiente do Cerrado durante o Quaternário com base em análises palinológicas. **Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas**, 397–413, 2014
- MIHEVC, A. The age of karst relief in west Slovenia. **Acta Carsologica**, 36(1), 35–44, 2007. <https://doi.org/10.3986/ac.v36i1.206>
- MONOD, O.; KUZUCUOĞLU, C.; OKAY, A. I. A miocene palaeovalley network in the western Taurus (Turkey). **Turkish Journal of Earth Sciences**, 15(1), 1–23, 2006.
- NOVELLO, V. F.; CRUZ, F. W.; KARMANN, I.; BURNS, S. J.; STRÍKIS, N. M.; VUILLE, M.; CHENG, H.; LAWRENCE EDWARDS, R.; SANTOS, R. V.; FRIGO, E.; BARRETO, E. A. S. Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. **Geophysical Research Letters**, 39(23), 1–6, 2012. <https://doi.org/10.1029/2012GL053936>
- NOVELLO, V. F.; CRUZ, F. W.; VUILLE, M.; STRÍKIS, N. M.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; EMERICK, S.; PAULA, M. S. DE; LI, X.; BARRETO, E. D. S.; KARMANN, I.; SANTOS, R. V. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Nature Publishing Group**, 1–8, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep44267>
- NOVELLO, V. F.; CRUZ, F. W.; MCGLUE, M. M.; WONG, C. I.; WARD, B. M.; VUILLE, M.; SANTOS, R. A.; JAQUETO, P.; PESSENDA, L. C. R.; ATORRE, T.; RIBEIRO, L. M. A. L.; KARMANN, I.; BARRETO, E. S.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L.; PAULA, M. S.; SCHOLZ, D. Vegetation and environmental changes in tropical South America from the last glacial to the Holocene documented by multiple cave sediment proxies. **Earth and Planetary Science Letters**, 524, 115–117, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.115717>
- OLIVEIRA, D. de. Capturas fluviais como evidências da evolução do relevo: uma revisão bibliográfica. São Paulo: **Revista Do Departamento de Geografia-USP**, 20, 37–50, 2010. <https://doi.org/10.7154/rdg.2010.0020.0003>
- ÖZTÜRK, M. Z. Fluvio-karstic evolution of the Taşeli Plateau (Central Taurus, Turkey). **Turkish Journal of Earth Sciences**, 29(5), 733–746, 2020. <https://doi.org/10.3906/yer-1908-1>
- PALMER, A. N. **Cave Geology**. Dayton: Cave Books, 2007.454p.
- PARISE, M. Surface and subsurface karst geomorphology in the Murge (Apulia, Southern Italy). **Acta Carsologica**, 40(1), 79–93, 2011 <https://doi.org/10.3986/ac.v40i1.30>

- PARIZZI, M. G; SALGADO-LABOURIAU, M. L; KOHLER, H. C. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. **The Holocene**, 8(3), 311–321, 1998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1191/095968398670195708>
- PEDERSON, D. T. Stream Piracy Revised: A groundwater - Sapping Solution. **Department of Geosciences**, 4–10, 2001.
- PETROVIĆ, A. S; ČALIĆ, J; GAJOVIĆ, V. Paleodrainage network reconstruction on Miroč Mt. (Eastern Serbia). **Revista de Geomorfologie**, 18(1), 69–76, 2016. <https://doi.org/10.21094/rq.2016.119>
- PHILLIPS, J. D. Landform transitions in a fluviokarst landscape. **Zeitschrift für Geomorphologie** v..61 1, 109-122, 2017. <https://doi.org/10.1127/zfg/2017/0452>
- PHILLIPS, J. D. Historical contingency in fluviokarst landscape evolution. **Geomorphology**, 303, 41–52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.11.015>
- PHILLIPS, J. D; MARTIN, L. L; NORDBERG, V. G; ANDREWS, W. A. Divergent evolution in fluviokarst landscapes of central Kentucky. **Earth Surface Processes and Landforms**, 29(7), 799–819, 2004. <https://doi.org/10.1002/esp.1070>
- PHILLIPS, J. D; WALLS, M. D. Nonlinear Processes in Geophysics Flow partitioning and unstable divergence in fluviokarst evolution in central Kentucky. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 11, 371–381, 2004.
- PILÓ, L. B. Morfologia cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 1(1), 88–102, 2000.
- PILÓ, L. B; AULER, A. S; NEVES, W. A; WANG, X; CHENG, H; EDWARDS, R. L. Geochronology, sediment provenance, and fossil emplacement at Sumidouro Cave, a classic Late Pleistocene/Early Holocene paleoanthropological site in eastern Brazil. **Geoarchaeology**, 20(8), 751–764, 2005. <https://doi.org/10.1002/gea.20081>
- POVARĂ, I; CONOVICI, M. Tectono-karst depressions in the central-western area of the Mehedinți Mountains (SW Romania). *Travaux de l'Institut de Spéologie "Émile Racovitza"*, LII, 37–49, 2013.
- RACZKA, M. F; OLIVEIRA, P. E; BUSH, M; MCMICHAEL, C. H. Two paleoecological histories spanning the period of human settlement in southeastern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, 28(2), 144–151, 2013. <https://doi.org/10.1002/jqs.2597>
- ROGLIC, J. `Karst Valleys` in the Dinaric Karst. **Erdkunde**, 18(2), 1964. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.1964.02.06>
- SAURO, U. The Monti Berici: A Peculiar Type of Karst in the Southern Alps. **Acta Carsologica**, 31(3), 2002. <https://doi.org/10.3986/ac.v31i3.382>
- SAURO, U. Landforms of mountainous karst in the middle latitudes: Reflections, trends and research problems. **Acta Carsologica**, 42(1), 5–16, 2013. <https://doi.org/10.3986/ac.v42i1.629>
- ŞENER, M. F; ÖZTÜRK, M. Z. Relict drainage effects on distribution and morphometry of karst depressions: A case study from central Taurus (Turkey). **Journal of Cave and Karst Studies**, 81(1), 33–43, 2019. <https://doi.org/10.4311/2018ES0111>
- STEVAUX, J. C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, 72, 73–85, 2000. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(00\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(00)00023-9)
- STRÍKIS, N. M. Paleopluviosidade no norte de Minas Gerais durante o glacial tardio e Holoceno com base em registros de espeleotemas. **Dissertação** (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) São Paulo: Instituto de Geociências IGc /USP, 2011.
- STRÍKIS, N. M. Atividade do Sistema de Monção Sul-americana na porção central do Brasil durante o último período glacial a partir da aplicação de isótopos de oxigênio em espeleotemas. **Tese** (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). São Paulo: Instituto de Geociências IGc/USP, 2015
- STRÍKIS, N. M; NOVELLO, V. F. Evolução hidrológica do Brasil durante o Pleistoceno Superior e Holoceno. **Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas**, 335-343, 2014.
- TAYLOR, C. J; GREENE, E. A. Hydrogeologic Characterization and Methods Used in the Investigation of Karst Hydrology. In D. O. R. e J. W. LaBaugh (Ed.), *Field Techniques for Estimating Water Fluxes Between Surface Water and Ground Water* (pp. 75–114), 2008. USGS.

- TÎRLĂ, L; MIREA, I; VIJULIE, I. Geomorphological and structural patterns of the scarp-related steep dry valleys in limestone ridges: A case study from South Carpathians, Romania. *Geomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 22(4), 399–408, 2016. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11528>
- TRAVASSOS, L. E. P. Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio**, 2019
- TRAVASSOS, L. E. P., RODRIGUES, B. D., & TIMO, M. B. Glossário Conciso e Ilustrado de Termos Cársticos e Espeleológicos. Belo Horizonte: **PUC Minas**, 65 p, 2015.
- TURCQ, B; PRESSINOTTI, M. M. N; MARTIN, L; ORSTOM. Paleohydrology and Paleoclimate of the Past 33, 000 Years at the Tamandúá River, Central Brazil. *Quaternary Research*, 294(47), 284–294, 1997. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1880>
- VALENTE, C. R; LATRUBESSE, E. M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 356–357, 62–74, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.10.002>
- VALÉZIO, E. V; PEREZ FILHO, A. Dinâmica antrópica no canal fluvial do córrego Tucum - São Pedro, São Paulo (Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 4, 1–8, 2015
- WARWICK, G. T. Dry vallies of the southern Peninnes, England. *Erdkunde*, 18(2), 116–123, 1964.
- WEB OF SCIENCE 2020. Todas as bases de dados. Disponível em: https://apps-wofknowledge.ez54.periodicos.capes.gov.br/UA_GeneralSearch_input.do?product=UA&SID=5Agtq6TQpxUlwYUO9je&search_mode=GeneralSearch Acesso em: 20 de março de 2021.
- WHITE, W. B. **Geomorphology and hydrology of karst terrains**. Oxford: Oxford University Press, 1988. 464p.
- WILLIAMS, P.; TING, Y. (2010). Mapa mundial de afloramentos rochosos carbonáticos. Disponível em: https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/ . Acesso em 11 de abril de 2021.
- WOODSIDE, J; PETERSON, E. W; DOGWILER, T. Longitudinal profile and sediment mobility as geomorphic tools to interpret the history of a fluviokarst stream system. *International Journal of Speleology*, 44, 197–206, 2015.
- ZAPROWSKI, B. J; EVENSON, E. B; EPSTEIN, J. B. Stream piracy in the Black Hills: A geomorphology lab exercise. *Journal of Geoscience Education*, 50(4), 380–388, 2002. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-50.4.380>
- ZENG, H; LOUCKS, R; JANSON, X; WANG, G.; XIA, Y; YUAN, B; XU, L. Three-dimensional seismic geomorphology and analysis of the Ordovician paleokarst drainage system in the central Tabei Uplift, northern Tarim Basin, western China. *AAPG Bulletin*, 95(12), 2061–2083, 2011. <https://doi.org/10.1306/03111110136>

Recebido em: 29/01/2021

Aceito para publicação em: 10/05/2021