

FEIÇÕES DE DISSOLUÇÃO NO MÁRMORE DA CASA DE PEDRA, MARTINS/RN: IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS KARREN

LUIZ EDUARDO PANISSET TRAVASSOS

Doutor em Carstologia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
E-mail: luizepanisset@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6264-2429>

JEFERSON RAYOL TARGINO DA SILVA

Mestrando em Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
E-mail: jeffrayol43@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5643-306>

JACIMÁRIA FONSECA DE MEDEIROS

Doutora em Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
E-mail: jacimariamedeiros@uern.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4394-1663>

Recebido:03/26

Avaliado:05/26

Publicado:06/26

RESUMO

A Casa de Pedra, localizada no município de Martins (RN), constitui um dos mais importantes sítios cársticos desenvolvidos em mármore no Nordeste brasileiro, destacando-se por abrigar a segunda maior caverna em mármore do país. Apesar de sua relevância geomorfológica, os estudos sobre feições de dissolução superficial em mármore do semiárido nordestino ainda são escassos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo identificar e classificar os karren (lapiás) presentes no afloramento da Casa de Pedra, contribuindo para o conhecimento do geopatrimônio cárstico regional. A pesquisa foi desenvolvida por meio de levantamento fotográfico sistemático em campo e análise morfológica. Foram analisadas a morfologia das feições, sua relação com estruturas geológicas, especialmente fraturas e planos de foliação, e sua distribuição topográfica. Os resultados permitiram identificar oito tipos principais de karren: Rillenkarrren, Wandkarrren, Rinnenkarrren, Kluftkarrren, Kamenitza, Craterkarrren, Rundkarrren e Schichtfugenkarrren, além da ocorrência de feições análogas aos Trittkarren. Destaca-se a elevada diversidade morfológica observada, incluindo associações complexas entre diferentes tipos de feições e evidências de transições evolutivas relacionadas às condições de exposição e cobertura da superfície rochosa. A ocorrência simultânea de karren livres e cobertos fornece importantes indicativos paleoambientais, enquanto o forte controle estrutural exercido pela foliação metamórfica e pelas fraturas condiciona a organização espacial das formas. Os resultados confirmam que o afloramento da Casa de Pedra constitui um expressivo campo de karren (karrenfield), de elevada relevância científica, didática e geoconservacionista, reforçando a necessidade de estudos complementares voltados à quantificação morfométrica das feições e à valorização do sítio como elemento do geopatrimônio do semiárido brasileiro.

Palavras-chave: carste em mármore; lapiás; geomorfologia cárstica; geopatrimônio; semiárido brasileiro.

DISSOLUTION FEATURES IN THE MARBLE OF CASA DE PEDRA, MARTINS/RN: IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF KARREN

ABSTRACT

The Casa de Pedra site, located in Martins municipality, Rio Grande do Norte State, northeastern Brazil, represents one of the most significant marble karst areas in the region and hosts the second-largest marble cave in the country. Despite its geomorphological relevance, studies on surface dissolution features developed in marble under semi-arid conditions remain scarce. This study aimed to identify and classify the karren features occurring on the Casa de Pedra marble outcrop, contributing to the understanding of regional karst geoheritage. The research was based on systematic field photographic surveys and morphological analyses. Feature morphology, structural controls, particularly fractures and foliation planes, and topographic distribution were evaluated. Eight major karren types were identified: Rillenkarrren, Wandkarrren, Rinnenkarrren, Kluftkarrren, Kamenitza, Craterkarrren, Rundkarrren, and Schichtfugenkarrren, in addition to features analogous to Trittkarren.

The results revealed a remarkable morphological diversity, including complex associations among different karren types and evidence of evolutionary transitions related to rock-surface exposure and soil cover conditions. The coexistence of free and covered karren provides valuable paleoenvironmental information, while metamorphic foliation and fractures exert strong structural control on feature distribution. The findings demonstrate that Casa de Pedra constitutes an expressive karrenfield with significant scientific, educational, and geoconservation value. The study reinforces the importance of further morphometric investigations and highlights the site's relevance as a key component of the geoheritage of the Brazilian semi-arid region.

Keywords: marble karst; karren; karst geomorphology; geoheritage; Brazilian semiarid region.

RASGOS DE DISOLUCIÓN EN EL MÁRMOL DE CASA DE PEDRA, MARTINS/RN: IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS KÁRREN

RESUMEN

La Casa de Pedra, ubicada en el municipio de Martins (RN), constituye uno de los principales sitios cársticos desarrollados en mármol del nordeste de Brasil y alberga la segunda cueva en mármol más extensa del país. A pesar de su relevancia geomorfológica, los estudios sobre formas de disolución superficial en mármoles del semiárido nordestino siguen siendo limitados. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue identificar y clasificar los karren presentes en el afloramiento de la Casa de Pedra, contribuyendo al conocimiento del geopatrimonio cárstico regional. La investigación se basó en un levantamiento fotográfico sistemático en campo y en análisis morfológicos. Se analizaron la morfología de las formas, su relación con estructuras geológicas, especialmente fracturas y planos de foliación, y su distribución topográfica. Los resultados permitieron identificar ocho tipos principales de karren: Rillenkarrren, Wandkarrren, Rinnenkarrren, Kluftkarrren, Kamenitza, Craterkarrren, Rundkarrren y Schichtfugenkarrren, además de formas análogas a los Trittkarrren. Se observó una elevada diversidad morfológica, incluyendo asociaciones complejas entre distintos tipos de formas y evidencias de transiciones evolutivas relacionadas con las condiciones de exposición y cobertura de la superficie rocosa. La coexistencia de karren libres y cubiertos proporciona importantes indicadores paleoambientales, mientras que la foliación metamórfica y las fracturas ejercen un fuerte control estructural sobre la distribución espacial de las formas. Los resultados confirman que la Casa de Pedra constituye un destacado campo de karren (karrenfield) de gran relevancia científica, educativa y para la geoconservación, reforzando la necesidad de estudios complementarios orientados a la cuantificación morfométrica de las formas y a la valorización del sitio como elemento del geopatrimonio del semiárido brasileño.

Palabras clave: carst en mármol; karren; geomorfología cárstica; geopatrimonio; semiárido brasileño.

INTRODUÇÃO

Os karren, denominados em português como lapiás, constituem um conjunto diverso de microformas de dissolução características de ambientes cársticos. Bögli (1980) os caracteriza como formas de pequena a média escala que cobrem as superfícies expostas das rochas carbonáticas e refletem, em sua morfologia, as condições ambientais sob as quais se desenvolveram. Para Ginés et al. (2009), a classificação dos karren é um debate em aberto na geomorfologia cárstica, pois a natureza contínua das formas e a interação de múltiplos processos tornam a delimitação entre tipos uma questão de critério analítico. Assim, Travassos (2019) os define como feições de dissolução que ocorrem em superfícies de rochas expostas à ação das águas pluviais, do escoamento superficial, da infiltração e de processos biológicos.

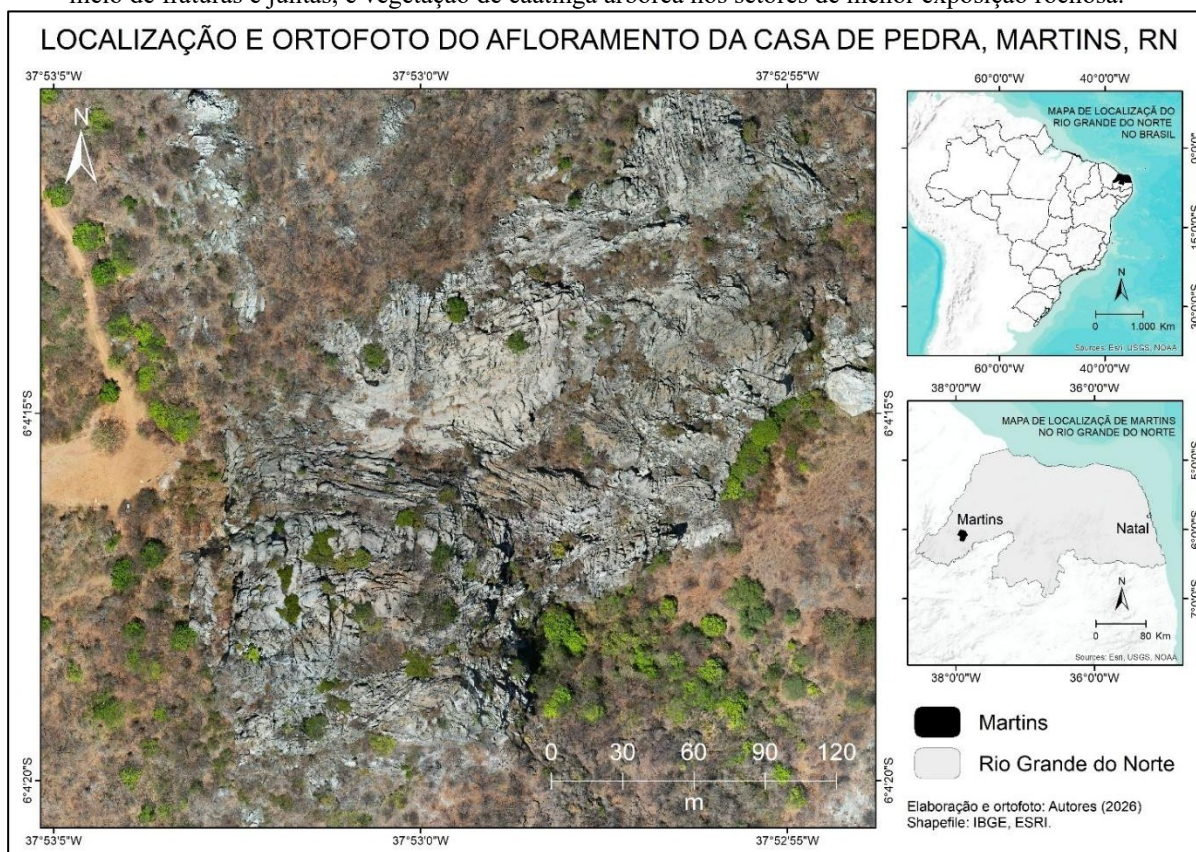
A organização sistemática dos karren foi consolidada por Bögli (1980) e atualizada por Ginés et al. (2009), que propõem uma classificação com base no agente de dissolução predominante: precipitação direta, escoamento canalizado, água estagnada, percolação no solo, fusão de neve ou processos biológicos. Veress (2010) aprofunda essa abordagem com uma análise detalhada das formas em ambientes de alta montanha, oferecendo critérios morfométricos precisos para a distinção entre os tipos e, em língua portuguesa, Travassos (2019) consolida essa terminologia com exemplos nacionais brasileiros.

No Brasil, os estudos sistemáticos desses tipos de feições ainda são escassos em comparação à literatura europeia (Travassos, 2019). No semiárido nordestino, em particular, há poucos trabalhos sobre essas feições. A Casa de Pedra (Figura 1), situada no município de Martins (RN), representa um dos mais expressivos sítios cársticos desenvolvidos em mármore no Nordeste. Trata-se da segunda maior caverna em mármore do Brasil, formada por rochas pré-cambrianas recristalizadas por metamorfismo regional (Maia; Bétard; Bezerra, 2016).

A presença de espeleotemas no interior da caverna confirma a atividade de processos cársticos, e o afloramento exhibe um conjunto notável de karren cuja diversidade morfológica ainda carece de documentação e análise sistemática.

Diante da lacuna identificada na literatura quanto à documentação de karren em mármore do Semiárido nordestino, conforme discutido na seção de Revisão de Literatura, este trabalho tem como objetivo identificar e classificar os karren presentes no afloramento da Casa de Pedra, com base em levantamento fotográfico de campo e análise morfológica embasada em Bögli (1980), Ginés et al. (2009), Veress (2010) e Travassos (2019), contribuindo para o conhecimento do geopatrimônio cárstico do Semiárido nordestino e subsidiando futuros estudos para a geoconservação do sítio.

Figura 1 – Ortofoto do afloramento de mármore da Casa de Pedra, município de Martins (RN). O afloramento exhibe superfícies rochosas expostas de coloração cinza a esbranquiçada, com marcante controle estrutural por meio de fraturas e juntas, e vegetação de caatinga arbórea nos setores de menor exposição rochosa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

REVISÃO DE LITERATURA

Os karren constituem um dos temas centrais da geomorfologia cárstica, sendo objeto de classificações sistemáticas desde meados do século XX. Bögli (1960) estabeleceu a distinção fundamental entre karren livres (*free karren*), formados em superfícies expostas

diretamente à precipitação, e karren cobertos (*covered karren*), desenvolvidos sob solo ou manta orgânica, propondo que a presença ou ausência de cobertura no momento da formação constitui o principal critério genético para a compreensão dessas feições. Posteriormente, Bögli (1980) ampliou essa abordagem, caracterizando os karren como formas de pequena a média escala que cobrem as superfícies expostas das rochas carbonáticas e refletem, em sua morfologia, as condições ambientais sob as quais se desenvolveram. O autor enfatiza que a agressividade química da água, função da concentração de CO₂ dissolvido, da temperatura e do tempo de contato com a rocha, é o principal motor da dissolução, enquanto a geometria da superfície rochosa condiciona o regime hidráulico do escoamento e, conseqüentemente, o tipo de karren produzido.

Ford e Williams (2007) ampliaram essa perspectiva ao demonstrar que a dissolução superficial das rochas carbonáticas é modulada pela interação entre a cinética química da reação água-rocha e os controles físicos do escoamento, incluindo a declividade, a rugosidade da superfície e a presença ou ausência de cobertura pedológica. Para esses autores, a distinção entre karren livres e karren cobertos permanece um dos critérios genéticos fundamentais, pois condiciona diferenças morfológicas diagnósticas: as formas subcutâneas tendem a apresentar perfis arredondados e suavizados, enquanto as formas subaéreas exibem cristas agudas e canais de perfil angular.

A organização sistemática mais abrangente dos karren foi proposta por Ginés et al. (2009), que classificam as feições em função do agente de dissolução predominante, ou seja, precipitação direta, escoamento canalizado, água estagnada, percolação sob solo, fusão de neve ou processos biológicos, além da escala morfométrica resultante. Os autores reconhecem, no entanto, que a classificação dos karren permanece um debate em aberto na geomorfologia cárstica, pois a natureza contínua das formas e a interação de múltiplos processos tornam a delimitação entre tipos uma questão de critério analítico. Veress (2010) aprofunda essa abordagem com uma análise detalhada das formas em ambientes de alta montanha, propondo critérios morfométricos quantitativos para a distinção entre tipos, como limiares de largura (< 2 cm para Rillenkarren; 2–10 cm para Rinnenkarren), de profundidade e de sinuosidade dos canais. O autor demonstra, ainda, que a declividade da superfície portadora desempenha papel determinante na transição entre diferentes tipos morfológicos: declives maiores favorecem o escoamento rápido e difuso, produzindo Rillenkarren, enquanto declives menores permitem a concentração do fluxo em canais mais largos e profundos, gerando Rinnenkarren. Em língua portuguesa, Travassos (2019) consolida essa terminologia com exemplos brasileiros, definindo os karren como feições de dissolução que ocorrem em superfícies de rochas expostas à ação das águas pluviais, do escoamento superficial, da infiltração e de processos biológicos.

Karren em diferentes litologias: para além dos carbonatos

Embora os karren sejam tradicionalmente associados a rochas carbonáticas, a literatura documenta a ocorrência de feições morfológicamente análogas em litologias diversas. Cucchi (2009) demonstra que formas semelhantes às Kamenitza podem se desenvolver em granitos, basaltos e rochas metamórficas, ampliando o espectro litológico de ocorrência dessas feições e colocando em discussão os limites do conceito de karren. Twidale e Vidal Romaní (2005) demonstram que a evolução de terrenos graníticos envolve a formação de feições de relevo em múltiplas escalas, desde a macro (inselbergs, domos) até a micro (caneluras, bacias de dissolução), todas condicionadas pela interação entre as propriedades da rocha, o regime climático e o tempo de exposição. Migoñ (2006) corrobora essa perspectiva ao destacar que as paisagens graníticas do mundo abrigam inventários completos de microformas de intemperismo, incluindo feições análogas aos karren carbonáticos, o que

reforça a universalidade dos processos de dissolução superficial, independentemente da composição mineralógica do substrato.

No contexto brasileiro, Knez, Slabe e Travassos (2012) descreveram karren em calcarenitos laminares da região de Lagoa Santa, em Minas Gerais, documentando a diversidade de feições de relevo rochoso (*rock relief*) em carbonatos laminados, incluindo canais de subsolo, copos de subsolo e kamenitzas. No Nordeste brasileiro, feições do tipo karren em rochas não carbonáticas têm sido documentadas com cada vez mais detalhe. Migoñ e Maia (2020), ao analisarem a Pedra da Boca, Pai Mateus e Quixadá, descrevem a ocorrência de karren como feições ubíquas nos inselbergs graníticos de Quixadá, incluindo sulcos paralelos de profundidade variável, separados por cristas aguçadas, e canais lineares de até 5 m de profundidade na Pedra do Cruzeiro. Santos et al. (2024) investigaram a origem e a evolução de feições de dissolução no inselberg Pedra do Cruzeiro, demonstrando que enclaves máficos elipsoidais controlam os estágios iniciais de formação de microcavidades e gnammas, enquanto os mega karren, em estágios avançados, se desenvolvem por superimposição do escoamento superficial sobre os condicionantes estruturais. Mais recentemente, Travassos et al. (2025) documentaram a ocorrência de feições do tipo karren (*karren-like features*) em granitos de Quixadá, consolidando o uso da terminologia cárstica em contextos não carbonáticos por analogia morfológica e funcional.

Karren como indicadores paleoambientais e elementos de geopatrimônio

Os karren têm sido cada vez mais reconhecidos como indicadores paleoambientais e como elementos fundamentais do geopatrimônio cárstico. A coexistência de formas subcutâneas (como Rundkarren) e subaéreas (como Rillenkarrren) em um mesmo afloramento permite inferir fases alternadas de cobertura pedológica e de exposição, fornecendo evidências sobre a dinâmica geomorfológica pretérita de um sítio (Bögli, 1960; Ford; Williams, 2007). Veress (2010) destaca que os Rundkarren, em particular, constituem indicadores confiáveis de cobertura pedológica pretérita, uma vez que sua morfologia suavizada e seu perfil arredondado resultam exclusivamente da dissolução em condições cobertas, sendo progressivamente modificados quando expostos à dissolução subaérea.

No âmbito da geoconservação, a diversidade de karren em um determinado sítio tem sido utilizada como critério para avaliar o valor geomorfológico de afloramentos cársticos. A proposta do Geoparque Sertão Monumental, no Ceará, inclui campos de inselbergs com mega karren, tafoni e gnammas entre seus principais geomorfossítios (Maia et al., 2015), e a candidatura de sítios como Quixadá a Áreas-Chave de Geopatrimônio (Migoñ; Maia, 2020) evidencia o crescente interesse na documentação e na proteção dessas feições.

No entanto, a maioria dos estudos no Nordeste concentra-se em rochas graníticas e calcárias, sendo os mármore, particularmente em contextos semiáridos, uma lacuna significativa na literatura nacional. O afloramento da Casa de Pedra, constituído por mármore pré-cambriano de composição calcítica, representa um contexto litológico singular que combina a solubilidade química dos carbonatos com os condicionantes estruturais típicos de rochas metamórficas (foliação, bandamento composicional), justificando uma investigação sistemática de suas feições de dissolução.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada no município de Martins (RN), na Mesorregião Oeste Potiguar, inserida no contexto geológico do Domínio Rio Grande do Norte, no setor norte da Província Borborema. O Mapa Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte (CPRM, 2009) indica que os mármore da região estão associados ao Grupo Seridó, em especial à

Formação Jucurutu, e, em menor proporção, como enclaves no Complexo Caicó, constituindo um recurso mineral de relevância para a produção de cal calcítica, carbonato de cálcio e corretivo de solos, além de material de revestimento e ornamental. De acordo com Medeiros et al. (2023), a rocha predominante no afloramento é o mármore (calcário pré-cambriano recristalizado por metamorfismo regional), de coloração cinza a esbranquiçada, textura nematogranoblástica, estrutura foliada e constituição essencialmente calcítica, com esporádicas tremolitas. O afloramento apresenta alta densidade de fraturas e juntas, o que fortemente condiciona o desenvolvimento das feições de dissolução. Para as unidades de rochas metacalcárias do estado, a dissolução das rochas carbonáticas forma o relevo cárstico de elevado interesse geoturístico e científico, plenamente exemplificado pela Casa de Pedra de Martins, reconhecida como a segunda maior caverna de mármore do Brasil (Maia; Bétard; Bezerra, 2016).

A área de estudo da Casa de Pedra encontra-se sob a influência do macroclima Semiárido. Todavia, segundo (Torres, 2025) o município de Martins, sede da unidade, sobressai na paisagem regional por enquadrar-se na unidade morfoclimática das Serras Úmidas com Grande Déficit de Inverno. É imperativo destacar que o sítio não se localiza no topo do platô, mas sim em suas vertentes baixas, fazendo limite com o município de Umarizal. Este território vizinho é tipificado pela unidade das Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas com Pequeno ou Nenhum Excedente Hídrico, evidenciando que a Casa de Pedra se posiciona em uma faixa ecológica e morfológica de transição entre o topo úmido e o pediplano seco. Em ambos os casos, as precipitações concentram-se entre março e junho, regime que, aliado à alta densidade de descontinuidades estruturais do maciço, favorece os processos de dissolução carbonática superficial e o desenvolvimento dos karren aqui estudados.

O levantamento consistiu no registro fotográfico sistemático das feições de dissolução superficial do afloramento. Cada feição foi descrita quanto à morfologia (forma geral, dimensões relativas, seção transversal dos canais e grau de paralelismo), à relação com a estrutura da rocha (fraturas, planos de foliação) e à posição topográfica. A classificação dos karren foi realizada com base na proposta sistemática de Ginés (2004), publicada em Ginés et al. (2009), e adotada em língua portuguesa por Travassos (2019), com os seguintes critérios diagnósticos: a) distinção entre Rillenkarrren e Wandkarrren, ângulo de inclinação da superfície portadora e morfologia da seção transversal (em V = Rillenkarrren; em U com fundo plano = Wandkarrren), conforme Bögli (1980) e Travassos (2019); b) distinção entre Rillenkarrren e Rinnenkarrren, largura dos canais (< 2 cm para Rillenkarrren; 2–10 cm para Rinnenkarrren) e grau de sinuosidade, segundo Veress (2010); c) distinção entre Kamenitza e Craterkarrren, para Kamenitza, formas circulares ou elípticas, quase planas e lisas, geradas pelo escoamento superficial homogêneo (Travassos, 2019); para Craterkarrren, depressões subcirculares semelhantes a cálices, com diâmetro de 1 a 5 cm, formadas pelo impacto das gotas de chuva e frequentemente associadas à atividade biológica (Ginés et al., 2009; Travassos, 2019); d) para Schichtfugenkarrren, dissolução preferencial ao longo de planos de acamamento horizontais ou sub-horizontais (Travassos, 2019), reconhecidos neste trabalho, por analogia funcional, nos planos de foliação metamórfica do mármore.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados oito tipos de karren predominantes no afloramento da Casa de Pedra: Craterkarrren, Kamenitza, Kluftkarrren, Rillenkarrren, Rinnenkarrren, Rundkarrren, Schichtfugenkarrren e Wandkarrren, além de feições análogas aos Trittkarren. Essa diversidade corresponde, em grande medida, aos principais tipos elementares descritos por Ginés et al. (2009) em sua tabela de classificação, organizada por agente de dissolução e por escala

morfométrica. O panorama resultante confirma que o afloramento da Casa de Pedra constitui um karrenfield (campo de karren) de alta riqueza morfológica, reforçando seu valor como geomorfossítio cárstico de relevância regional ou até mesmo nacional. A seguir, os resultados são apresentados por tipo morfológico, com discussão embasada na literatura e pesquisa de campo.

O afloramento da Casa de Pedra apresenta superfícies rochosas extensas e contínuas, com marcante controle estrutural impresso pelas fraturas e pelos planos de foliação do mármore (Figura 2). A foliação metamórfica se manifesta na superfície do afloramento como um bandamento planar contínuo, expresso por linhas e faixas paralelas de coloração variada (cinza claro a cinza escuro) que percorrem o maciço de forma relativamente regular. A orientação predominante aparenta ser NW-SE, com mergulho moderado a acentuado, evidenciado pelo padrão de exposição das bandas na superfície sub-horizontal da rocha.

Figura 2 – Vista geral do afloramento da Casa de Pedra, Martins/RN evidenciando a extensão das superfícies expostas e distribuição de feições na superfície. A seta indica uma pessoa de 1,80m como escala.



Fonte: Os autores (2026).

Rillenkarrren

Os Rillenkarrren (lapiás em caneluras) constituem a feição mais frequente no afloramento, ocorrendo em praticamente todas as superfícies inclinadas expostas (Figura 3). Travassos (2019) os define como caneluras de dissolução, geralmente de pequena escala, estreitas, retilíneas, organizadas de forma compacta e paralela, que têm início no topo de uma vertente ou de um afloramento e se extinguem em direção à base, pois a água que escoar satura-se rapidamente. Segundo Veress (2010), consistem em uma série de pequenas caneluras paralelas, cuja direção é idêntica à da fácies ou vertente, com forma parabólica em U e, às vezes, em V, separadas por cristas afiadas. Ginés et al. (2009) os classificam como feições controladas pela precipitação direta, destacando que sua escala típica está entre 1 e 30 cm de comprimento e menos de 2 cm de largura. A extensão e profundidade dos canais variam conforme a declividade, a quantidade de precipitação e a temperatura (Bögli, 1980; Veress, 2010).

Figura 3 – Exemplos clássicos de Rillenkarrren identificados no afloramento da Casa de Pedra, Martins/RN.



Fonte: Os autores (2026).

Transição Rillenkarrren–Wandkarrren

Em superfícies subverticais a verticais (com inclinação estimada entre 60° e 90°), observa-se a transição morfológica entre Rillenkarrren e Wandkarrren. Travassos (2019) define os Wandkarrren (lapiás verticais) como ranhuras identificáveis em fácies verticais de um afloramento, sendo mais profundas que os lapiás em sulcos e separadas por superfícies não significativamente corroídas. Bögli (1980), Ford e Williams (2007) e Veress (2010) os descrevem como feições criadas pelo escoamento da água em superfícies verticais, paralelas entre si, de seção transversal semicircular. Travassos (2019) destaca que Wagner (1950) indicava que os Rinnenkarren ocorrem em declividades entre 30° e 90° , embora, na literatura, seja mais aceito que os Wandkarrren ocorrem em vertentes mais abruptas (60 a 90°), conforme demonstrado na Figura 4.

A transição ocorre por uma mudança fundamental no regime de escoamento da água sobre a superfície rochosa, condicionada principalmente pelo ângulo de inclinação da rocha. Assim, os Rillenkarrren (superfícies inclinadas de ~ 60 – 70°) são formados quando a água de chuva cai diretamente sobre a rocha e escoar em película fina e difusa em direção à vertente. O impacto das gotas e o escoamento laminar rápido dissolvem a rocha de forma paralela e regular, gerando sulcos finos, retos e paralelos característicos. A água se satura rapidamente de carbonato; por isso, os canais se extinguem antes de chegar à base, o que explica seu comprimento limitado. O ponto de transição ocorre à medida que a inclinação da superfície aumenta para além de ~ 70 – 80° , dois fenômenos ocorrem simultaneamente: (1) o impacto direto da chuva diminui progressivamente, pois as gotas passam a atingir a parede de forma oblíqua ou tangencial; (2) o escoamento passa a ser dominado pela gravidade e pela tensão superficial da água, que forma uma película contínua e lenta aderida à parede vertical, em vez de um fluxo livre e turbulento. Nas paredes subverticais a verticais (60 – 90°) no regime de

escoamento laminar em película, a dissolução é mais homogênea lateralmente, tende a alargar os canais e a plainar seus fundos, gerando uma seção transversal em U com fundo plano e bordas nítidas, caracterizada pelos Wandkarren. Como a película de água é mais espessa e lenta do que nos Rillenkarrren, a dissolução atinge profundidades maiores e os canais podem se estender por dezenas de metros vertente abaixo sem se extinguir. Em resumo, não é o tipo de rocha nem o clima que muda; é a geometria da superfície que altera o regime hidráulico da água, e essa mudança de regime é que produz morfologias distintas.

Figura 4 – Superfícies com transição morfológica entre Rillenkarrren e Wandkarren na Casa de Pedra, Martins/RN. Sulcos em paredes subverticais com características morfológicas intermediárias entre os dois tipos; notar o paralelismo dos canais e a tendência à verticalização das superfícies portadoras.



Fonte: Os autores (2026).

Kluftkarren

Os Kluftkarren (lapiás em fendas ou ranhuras) são os segundos tipos de feição mais frequente no afloramento. Travassos (2019) os descreve como feições que se desenvolvem em superfícies preferencialmente horizontais ou sub-horizontais, devido ao processo de dissolução e ao alargamento de discontinuidades, como juntas, fraturas e diaclases. Para Ford e Williams (2007), a estrutura da rocha, com suas fraturas, é a principal causa da forma praticamente linear desses karren. Veress (2010) os classifica como karren de percolação, pois a água infiltra pelas fraturas e promove a dissolução lateral e vertical dos planos de discontinuidade. Goldie (2009) considera o Kluftkarren um fenômeno cárstico fundamental, pois constitui a principal via de drenagem da água para as porções mais profundas do epicarste. A alta densidade de fraturas do mármore da Casa de Pedra torna essa feição particularmente expressiva no sítio (Figuras 5 e 6).

Figura 5 – Kluftkarren métricos identificados na Casa de Pedra, Martins/RN. A pesquisadora na foto serve de escala com cerca de 1,70 m.



10

Fonte: Os autores (2026).

Figura 6 – Outros exemplos de Kluftkarren métricos identificados na Casa de Pedra, Martins/RN.



11

Fonte: Os autores (2026).

Kamenitza, Craterkarren e Rundkarren

As Kamenitza (lapiás em marmita de dissolução, ou solution pan) foram identificadas em superfícies horizontais e sub-horizontais do afloramento (Figura 7). Travassos (2019) as define como formas superficiais circulares ou elípticas, quase planas e lisas, que podem ou não se localizar ao longo de uma faixa à jusante dos Rillenkarren. Se desenvolvem pois o escoamento superficial forma uma espécie de camada homogênea de água, capaz de nivelar

a superfície por meio da dissolução. Ginés et al. (2009) as associam ao agente água estagnada, com dimensões típicas de 1 cm a 0,5 m de profundidade e 5 cm a 5 m de largura, e a um fundo horizontal revestido por uma camada fina de solo ou vegetação que potencializa a dissolução. Destaca-se que Cucchi (2009) indica que formas similares às Kamenitza podem ocorrer em rochas não carbonáticas, como granitos (Santos et al., 2024; Travassos et al., 2025), basaltos e rochas metamórficas, o que é relevante para o contexto do mármore da Casa de Pedra.

Em associação às Kamenitza, foram observadas Craterkarren (*rainpits* ou lapiás alveolares). Travassos (2019) os descreve como pequenas concavidades subcirculares, parecidas com cálices, que podem ter diâmetros de 1 a 5 cm e, excepcionalmente, até 2 cm de profundidade, formadas pelo impacto das gotas de chuva na rocha. O autor documenta, com exemplos brasileiros, a contribuição biológica na formação dessas feições: líquens desenvolvem-se em pequenas depressões ou alvéolos e podem contribuir para seu desenvolvimento (Travassos, 2019). Ginés et al. (2009) os classificam como feições biocársticas controladas pela precipitação direta, com escala inferior a 5 cm. A Figura 7 registra morfologia suavemente ondulada compatível com Rundkarren, formados quando a rocha estava coberta por solo. Segundo Veress (2010), os Rundkarren se desenvolvem quando Rinnenkarren são temporariamente cobertos por solo, e a dissolução difusa sob essa cobertura confere o aspecto arredondado e polido característico.

Figura 7 – Exemplos de Kamenitza no afloramento da Casa de Pedra, Martins/RN. Na foto da direita, é possível identificar a Kamenitza na porção central e na porção inferior direita, onde há acúmulo de matéria orgânica. Essas feições se formam por dissolução e acumulam água e detritos, o que, por sua vez, retroalimenta o processo de aprofundamento. À montante das Kamenitza, observam-se os Rillenkarren.



Fonte: Os autores (2026).

A Figura 8 também representa uma sequência evolutiva de feições de dissolução identificadas no afloramento da Casa de Pedra, registrando pelo menos três estágios distintos de desenvolvimento de karren sobre rocha carbonática. Na primeira fotografia, identificam-se os Rundkarren, caracterizados por sulcos com bordas arredondadas e perfil transversal

suavizado em forma de "U", produtos de dissolução subcutânea, ou seja, desenvolvidos sob cobertura de solo ou manta orgânica, onde a umidade retida no contato solo-rocha promove a dissolução de forma lenta e contínua. A presença de serapilheira na base do bloco reforça essa interpretação, indicando que a superfície rochosa esteve parcialmente protegida por material pedológico. Segundo Bögli (1960) e Ford e Williams (2007), os rundkarren constituem um dos principais indicadores de dissolução em condições cobertas, sendo amplamente reconhecidos na literatura como formas subcutâneas.

Figura 8 – Exemplos de Rundkarren no afloramento da Casa de Pedra, Martins/RN.



Fonte: Os autores (2026).

Na fotografia do centro, identifica-se um estágio mais avançado de evolução, caracterizado pela remoção progressiva da cobertura pedológica e pela exposição direta da superfície rochosa aos agentes atmosféricos. Nessa condição, o escoamento concentrado da água pluvial passa a atuar de forma mais eficiente, promovendo o aprofundamento dos sulcos e a formação de Rinnenkarren — canais mais profundos e largos do que os Rillenkarren, com desenvolvimento longitudinal que acompanha a inclinação da vertente. Além disso, a dissolução diferencial entre os canais resulta no isolamento progressivo de cristas aguçadas, dando origem a Spitzkarren (pináculos), que se projetam na porção superior do afloramento. A coexistência de Rinnenkarren e Spitzkarren nesse painel evidencia a transição do regime subaéreo para o regime aéreo de dissolução.

Na fotografia da direita, na Figura 8, a superfície rochosa encontra-se plenamente exposta, exibindo Rillenkarren bem desenvolvidos, embora seja possível perceber o arredondamento inicial da superfície. A sequência de fotos evidencia a proposta clássica de Bögli (1960), que distingue karren cobertos (*covered karren*) de karren livres (*free karren*) com base na presença ou ausência de cobertura no momento de sua formação.

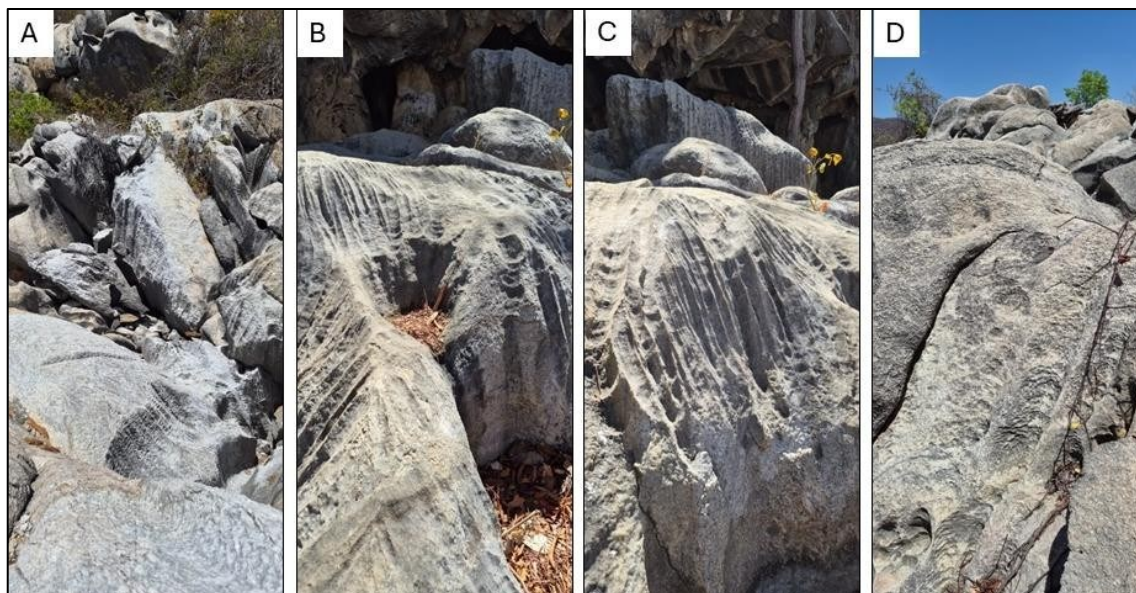
Rinnenkarren e Trittkarren

Os Rinnenkarren (lapiás em sulcos) foram identificados nas superfícies onde o escoamento superficial apresenta maior grau de concentração. Travassos (2019) os define como formas que consistem em canais lineares ou sulcos, que apresentam aumento de largura e profundidade em direção à base do maciço, formados porque o escoamento superficial passa

a fluir de forma mais concentrada nos canais iniciais. O autor acrescenta que os Rinnenkarren normalmente se formam à jusante das Kamenitzas, como resultado desse escoamento superficial concentrado, com sua largura aumentando à medida que se avança. Ginés et al. (2009) os classificam como *solutional runnels*, controlados pelo escoamento canalizado, com largura típica de 5 cm a 50 cm e comprimento de 1 a 10 m. Segundo Veress (2010), a distinção prática em relação aos Rillenkarren baseia-se na largura dos canais (Rinnenkarren $\geq 2-3$ cm, levemente sinuosos) e na declividade da superfície portadora. A transição Rillenkarren $\rightarrow$ Rinnenkarren foi documentada em múltiplas superfícies, evidenciando o gradiente hidráulico que controla o desenvolvimento das lápias (Figura 9).

Novamente, em função do longo período de evolução da paisagem, percebe-se a coexistência de Rillenkarren, Rinnenkarren e feições do tipo Trittkarren, o que configura o maciço da Casa de Pedra como um geossítio de alta relevância didática e científica. Travassos (2019) define o Trittkarren (lapiás em degraus) como feições que surgem no maciço como pequenos degraus em superfícies de rochas expostas, mais planas ou inclinadas, geradas pelo movimento da água sobre pequenas irregularidades da superfície. O autor esclarece que, quando a água flui sobre a superfície plana, mas encontra uma escarpa ou irregularidade, o fluxo laminar, antes relativamente lento, torna-se rápido e turbulento, iniciando o recuo da pequena escarpa. Ginés et al. (2009) os associam ao agente *sheet wash water flow*, na escala de 10 cm a 1 m. A Figura 9 documenta a observação de campo de que a declividade altera o tipo de karren, relação explicitada por Veress (2010), que mostra que declives menores favorecem canais mais largos e sinuosos (Rinnenkarren), enquanto declives maiores mantêm o escoamento rápido e difuso (Rillenkarren).

Figura 9 – Rinnenkarren e feições associadas na Casa de Pedra, Martins/RN. (A) Coexistência de Rillenkarren, Rinnenkarren e feição análoga a Trittkarren; (B) Sistema integrado Kamenitza-Rinnenkarren com feições do tipo Rundkarren; (C) Transição Rillenkarren–Rinnenkarren em superfície inclinada; (D) Rinnenkarren com morfologia condicionada pela declividade da superfície portadora. Também é possível identificar os Trittkarren.



Fonte: Os autores (2026).

Schichtfugenkarren e associações morfológicas complexas

Os Schichtfugenkarren (lapiás em planos de acamamento ou lapiás horizontais) também foram identificados. Travassos (2019, p. 97) os define como lapiás desenvolvidos a partir da dissolução preferencial, ocorrida nos planos de acamamento horizontais ou sub-

horizontalizados do afloramento, resultando em feições de dissolução dispostas horizontalmente ao longo dessas discontinuidades. No mármore da Casa de Pedra, os planos de foliação metamórfica desempenham papel análogo ao dos planos de estratificação em calcários sedimentares, justificando a aplicação do termo por analogia morfológica e funcional. Ginés et al. (2009) os classificam como feições de percolação (*infiltration*), controladas pela estrutura da rocha e não pelo regime de escoamento superficial.

A Figura 10 apresenta a associação morfológica mais complexa identificada na pesquisa: Rillenkarrren, Wandkarrren, Kluftkarrren e Schichtfugenkarrren, coexistentes na mesma superfície, ilustrando a interação entre controles climáticos (precipitação), hidrológicos (escoamento) e estruturais (fraturas e foliação). Observa-se algo de particular relevância científica: a interrupção dos canais de Wandkarrren por planos de Schichtfugenkarrren. Travassos (2019) registra exatamente esse fenômeno por meio de uma fotografia de um afloramento carbonático em Minas Gerais, descrevendo que é comum observar que os Wandkarrren podem ser interrompidos por lapiás horizontais ou por Schichtfugenkarrren. O registro de ocorrência equivalente no mármore semiárido nordestino constitui, portanto, uma contribuição documental ao conhecimento desse processo no contexto geológico da Província Borborema.

Figura 10 – Schichtfugenkarrren e associações morfológicas complexas na Casa de Pedra, Martins/RN. À esquerda, a combinação de Rillenkarrren, Wandkarrren, Kluftkarrren e Schichtfugenkarrren ao longo de planos de foliação do mármore — afloramento de maior complexidade morfológica do levantamento; no fotografada do centro, a associação triíplice Kamenitza + Schichtfugenkarrren + Kluftkarrren; à direita, interrupção de canais de Wandkarrren por Schichtfugenkarrren.



Fonte: Os autores (2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento sistemático dos karren no afloramento da Casa de Pedra, Martins/RN, permitiu identificar oito tipos principais: Rillenkarrren, Wandkarrren, Rinnenkarrren, Kluftkarrren, Kamenitza, Craterkarrren, Rundkarrren e Schichtfugenkarrren, além de feições análogas aos Trittkarren. Essa diversidade corresponde, em grande medida, à tabela de classificação proposta na literatura que abrange feições controladas pela precipitação direta, pelo escoamento canalizado, pela água estagnada e pela percolação estrutural.

O resultado confirma que o mármore da Casa de Pedra, com sua alta densidade de fraturas e planos de foliação, reúne as condições litológicas, estruturais e climáticas necessárias ao desenvolvimento de um *karrenfield* de alta riqueza morfológica, posicionando o sítio entre os mais relevantes geomorfossítios cársticos em mármore do Nordeste brasileiro.

Os resultados apontam, ainda, caminhos prioritários para o aprofundamento da pesquisa, como a sistematização da distinção entre Rillenkarrren e Wandkarrren por meio de medições angulares e análise de seção transversal, a quantificação da transição Rillenkarrren–Rinnenkarrren em função de largura e declividade, a investigação do potencial paleoambiental dos Rundkarrren como indicadores de cobertura pedológica pretérita e o detalhamento dos Schichtfugenkarrren em relação à orientação e ao mergulho dos planos de foliação do mármore.

Do ponto de vista genético, os resultados obtidos demonstram que o afloramento da Casa de Pedra registra tanto karren livres (*free karren*) quanto karren cobertos (*covered karren*), evidenciando que a história evolutiva do sítio envolveu fases alternadas de cobertura pedológica e de exposição subaérea. A presença de Rundkarrren com morfologia suavizada e perfil em "U" constitui um indicador de dissolução subcutânea pretérita, enquanto os Rillenkarrren e Wandkarrren com cristas agudas documentam a fase atual de dissolução em superfície exposta. Essa coexistência de formas subcutâneas e subaéreas em um mesmo afloramento permite inferir que a remoção da cobertura de solo, possivelmente associada a mudanças climáticas quaternárias ou a processos erosivos locais, foi um fator determinante na transição morfológica observada, em consonância com o modelo evolutivo proposto para paisagens cársticas em diferentes estágios de denudação.

A diversidade de karren documentada na Casa de Pedra também contribui para a discussão mais ampla sobre a ocorrência de feições de dissolução em diferentes litologias. Enquanto os estudos de Migoñ e Maia (2020) e Santos et al. (2024) demonstram a presença de feições análogas a karren em granitos do Nordeste brasileiro, e Travassos et al. (2025) consolidam o uso do termo *karren-like features* para esses contextos não carbonáticos, o presente trabalho documenta a ocorrência de karren sensu stricto em mármore, uma litologia que combina a solubilidade química dos carbonatos com os condicionantes estruturais das rochas metamórficas (foliação, bandamento composicional). Os planos de foliação do mármore desempenham papel funcional análogo aos planos de estratificação dos calcários sedimentares, como demonstram a ocorrência de Schichtfugenkarrren ao longo dessas descontinuidades e a interrupção de canais de Wandkarrren por esses planos.

O registro de oito tipos de karren em um único afloramento de mármore, em contexto semiárido, demonstra que a dissolução carbonática superficial pode produzir alta diversidade morfológica mesmo sob regimes pluviométricos relativamente restritos, desde que a combinação de fatores litológicos (composição calcítica pura), estruturais (alta densidade de fraturas e foliação penetrativa) e temporais (longo período de exposição em rochas pré-cambrianas) seja favorável. Esse resultado amplia a compreensão dos limites climáticos para o desenvolvimento de karrenfields, frequentemente associados na literatura a climas úmidos ou de alta montanha, e reforça a relevância dos ambientes semiáridos tropicais como laboratórios naturais para o estudo de paleoclimas.

O sítio reúne, ainda, elevado potencial para o geoturismo e a geoconservação, dado que a diversidade de lapiás documentada constitui um patrimônio geomorfológico de caráter didático e científico de interesse regional e nacional. Recomenda-se a inclusão da Casa de Pedra em inventários de geossítios cársticos do Nordeste, bem como a elaboração de medidas de gestão que conciliem o acesso turístico com a preservação das feições de dissolução.

Em síntese, a Casa de Pedra de Martins constitui um geomorfossítio cárstico de excepcional valor científico, didático e patrimonial, cuja diversidade de karren documenta a interação entre processos químicos de dissolução, controles estruturais metamórficos e dinâmicas de cobertura pedológica ao longo do tempo geológico. A inclusão deste sítio em inventários de geopatrimônio cárstico do Nordeste brasileiro contribuiria para o reconhecimento da geodiversidade do semiárido potiguar e para a valorização dos mármore da Formação Jucurutu como substratos de relevância geomorfológica, além de sua importância econômica como recurso mineral.

Estudos futuros, destes ou de outros pesquisadores, deverão incorporar levantamentos morfométricos sistemáticos e o monitoramento das taxas de dissolução por meio de *micro-erosion meters*, a fim de quantificar a dinâmica evolutiva das feições e subsidiar estratégias de geoconservação de longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Bolsas de Produtividade em Pesquisa dos professores doutores (CNPq e UERN) e à bolsa de estudos do mestrando.

REFERÊNCIAS

BÖGLI, A. Kalklösung und Karrenbildung. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Supplementband 2, p. 4–21, 1960.

BÖGLI, A. **Karst Hydrology and Physical Speleology**. Berlin: Springer-Verlag, 1980. 284p.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**: escala 1:500.000. Recife: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2009. Coordenação técnica: Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff.

CUCCHI, F. Solution features on non-carbonate rock types. In: GINÉS, A.; KNEZ, M.; SLABE, T.; DREYBRODT, W. (eds.). **Karst Rock Features: Karren Sculpturing**. Ljubljana: ZRC Publishing, 2009. p. 209–220.
DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610502968>.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 562 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118684986>.

GINÉS, A. Karren landforms and karren features. In: GINÉS, J.; KNEZ, M.; SLABE, T.; DREYBRODT, W. (eds.). **Karst Rock Features: Karren Sculpturing**. Ljubljana: ZRC Publishing, 2009. p.13-26. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610502968>.

GINÉS, J.; KNEZ, M.; SLABE, T.; DREYBRODT, W. (eds.). **Karst Rock Features: Karren Sculpturing**. Ljubljana: ZRC Publishing, 2009. 561p.
DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610502968>.

GOLDIE, H. S. Kluftkarren or grikes as fundamental karstic phenomena. In: GINÉS, J.; KNEZ, M.; SLABE, T.; DREYBRODT, W. (eds.). **Karst Rock Features: Karren Sculpturing**. Ljubljana: ZRC Publishing, 2009. p. 89-102.

DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610502968>.

KNEZ, M.; SLABE, T.; TRAVASSOS, L. E. P. Karren on laminar calcarenitic rock of Lagoa Santa (Minas Gerais, Brazil). **Acta Carsologica**, v. 40, n. 2, p. 357–367, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v40i2.19>.

MAIA, R. P.; BÉTARD, F.; BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia dos maciços de Portalegre e Martins – NE do Brasil: inversão do relevo em análise. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 273-285, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i2.801>.

MEDEIROS, J. F. de; CESTARO, L. A.; SOUZA, L. C. de; CARVALHO, A. T. F. Unidades litoestratigráficas e geomorfológicas do Planalto Residual da Serra de Martins, RN, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 25, n. 2, p. 71-94, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.35701/rcgs.v25.911>.

MIGON, P. **Granite Landscapes of the World**. Oxford: Oxford University Press, 2006. 416p. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780199273683.001.0001>.

MIGON, P.; MAIA, R. P. Pedra da Boca, Pai Mateus, and Quixadá — Three Possible Key Geoheritage Sites in Northeast Brazil. **Geoheritage**, v. 12, n. 53, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00473-4>.

MORAIS, V. V. T. de. Compartimentação Morfoclimática da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró-BHRAM. 2025. 112 p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Mossoró, 2025.

SANTOS, G. L. B. dos; MAIA, R. P.; TRAVASSOS, L. E. P.; SOUZA, A. S. V. de. Origin and evolution of solutional features on granitic inselbergs. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.25, n.1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v25i1.2469>.

TRAVASSOS, L.E.P. **Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica**. Brasília: ICMBio/Editora IABS, 2019. 209p.

TWIDALE, C. R.; VIDAL ROMANÍ, J. R. **Landforms and Geology of Granite Terrains**. Rotterdam: A. A. Balkema, 2005. 351 p.

VERESS, M. **Karst Environments: Karren Formation in High Mountains**. Dordrecht: Springer, 2010. 231p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3550-9>.