



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE UFRN
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES CCHLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA PPGE

CARACTERIZAÇÃO DAS MORFOLOGIAS CÁRSTICAS DO METACALCÁRIO
DO VALE DO SÃO ROMÃO, CEARÁ-BRASIL

CARLOS RENIR SOARES DE ARAÚJO

NATAL, RIO GRANDE DO NORTE

2023

CARLOS RENIR

**CARACTERIZAÇÃO DAS MORFOLOGIAS CÁRSTICAS DO METACALCÁRIO
DO VALE DO SÃO ROMÃO, CEARÁ-BRASIL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Braz de Sousa

Natal, 2023

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas,
Letras e Artes - CCHLA

Araújo, Carlos Renir Soares de.

Caracterização das morfologias cársticas do metacalcário do Vale do São Romão, Ceará-Brasil / Carlos Renir Soares de Araújo. - 2023. 110f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-graduação em Geografia, Natal, RN, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Sílvio Braz de Souza.

1. Morfologia Cársica. 2. Influência Climática. 3. Contexto Geológico. I. Souza, Sílvio Braz de. II. Título.

RN/UF/BS-CCHLA

CDU 551(813.1)

Agradecimentos

Este trabalho é o culminar de uma construção mútua, com o tempero de pessoas especiais para minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

Agradeço imensamente e primeiramente a Deus, pela vida, as alegrias e possibilidades que ela nos proporciona, pelos momentos e pessoas especiais que encontrei nessa caminhada.

A toda a minha família, em especial a minha mãe, Ivone Francelino Soares, pelo apoio contínuo durante toda a pesquisa e caminhada acadêmica.

Agradeço a minha companheira, Masonila Fernandes, da qual sempre tive apoio e compreensão nos vários desafios que enfrentei. Muito obrigado pelo amor e carinho de sempre.

A minha avó, Francisca Francelino Soares, que sempre quis me ver alcançando novos patamares e trilhando novos caminhos. Apesar de não estar mais entre nós, deixo aqui o meu muito obrigado!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Silvio Braz de Sousa, que apesar da distância sempre me deu todo o suporte necessário para a construção desse trabalho. Obrigado por sempre fazer uma força a mais, mesmo nos domingos a noite, para que pudéssemos adiantar o trabalho. Agradeço e o admiro por ter aceito este desafio, de estar orientando um aluno com uma linha de pesquisa diferente da que está habituado. Muito obrigado pelas orientações ricas e construtivas, também por suas palavras de apoio e incentivo.

Ao Prof. Dr. Rubson Pinheiro Maia, que apesar de não participar ativamente da orientação, sempre estava disponível e prontamente atendia as minhas dúvidas sobre a pesquisa, principalmente sobre conceitos e fenômenos das feições cársticas. É um pesquisador que admiro muito, tanto pelo trabalho desenvolvido, quanto pela paciência e vontade de divulgar e apoiar novos conhecimentos.

A Profa. Dra. Maria Daniely Freire Guerra, que sempre me incentivou a cursar o mestrado, a desenvolver a pesquisa na área da Geomorfologia Cárstica e a me apoiar durante todo o processo de construção do projeto. Além de uma grande profissional, é também um ser humano sem igual, sempre disponível a ajudar, não importando o momento ou local.

Aos professores Doutores, Diógenes Félix e Rodrigo de Freitas Amorim, avaliadores da minha banca de qualificação. O meu muito obrigado pelas orientações e sugestões, que se fizeram cruciais para o desenvolvimento e finalização deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, que sempre se mostraram pacientes e prontos a ajudar.

A todos os meus amigos, pelas constantes palavras de incentivo e momentos de descontração.

A minha coordenadora, Antonia Laurineide Cavalcante, que sempre esteve me apoiando e com preocupação quanto ao meu desempenho e prazos. Agradeço também, aos demais colegas da área

de Ciências Humanas da Escola Estadual Dorinha Cidrão, uma segunda família para mim. A todos, o meu muito obrigado!

“O universo não foi feito à medida do ser humano,
mas tampouco lhe é adverso: é-lhe indiferente.”

Carl Sagan

RESUMO

Este trabalho efetua uma caracterização da morfologia cárstica presente na região do Vale do São Romão, entre os municípios de Altaneira e Farias Brito, estado do Ceará. A região se encontra inserida no contexto geológico e tectônico da porção setentrional da Província da Borborema, Domínio Rio Grande do Norte. Trata-se de uma região de clima semiárido, que apresenta um conjunto de formas típicas constituídas em metacalcários, tais como os lapiás, que se encontram expostos à superfície e compõem a paisagem das vertentes do Vale do São Romão. Com o objetivo de caracterizar as referidas feições presentes na região, o trabalho visa entender os aspectos morfológicos das feições presentes na região, além de descrevê-las e mapeá-las. A metodologia da pesquisa se baseou em quatro etapas, a pesquisa bibliográfica, trabalho de campo e mapeamento, subsidiando a compreensão e descrição da dinâmica das formas e processos da litologia em estudo. A área de estudo é parte integrante da depressão sertaneja, com a presença de um grande maciço (serra do Quincuncá), sendo comum a presença de cristas residuais, estruturadas nos metacalcários e uma morfoestrutura com forte influência de lineamentos estruturais. A gênese e evolução do carste da região ocorreu pela ação conjunta de fatores exógenos, tais como a umidade e temperatura, condições que não estão presentes nos dias atuais. Por conta das temperaturas elevadas e baixos índices de umidade ao longo do ano, a morfologia cárstica da região é reflexo de uma formação em condições climáticas pretéritas. Estas feições, possuem uma gênese particular, necessitando de climas propícios, com grande aporte de umidade, temperaturas elevadas e componentes mineralógicos ideais para dissolução/erosão, como a calcita e dolomita. As morfologias mais comuns identificadas na área, fazem parte do carste exógeno, com a presença de paredões lapiezados, lapiás em caneluras, campo de lapias e blocos exumados, mas também, o endocarste, com a presença de cavernas e condutos calcários.

Palavras-chave: Morfologia Cársica, Contexto Geológico, Influência Climática

Abstract

This study resulted in the characterization of karst morphology in the Vale do São Romão region, situated between the municipalities of Altaneira and Farias Brito in the state of Ceará. The region is part of the geological and tectonic context of the northern portion of the Borborema Province, within the Domain of Rio Grande do Norte. It exhibits a semi-arid climate, featuring typical forms found in metalimestones, such as exposed lapiaz, which collectively shape the landscape of the São Romão Valley. With the aim of characterizing the aforementioned features in the region, this study seeks to understand the aspects of their formation and evolution, providing a description and mapping of these features. The research methodology is based on a review of existing literature, fieldwork, and mapping, supporting the understanding and description of the dynamics of the forms and processes within the studied lithology. The study area is an integral part of the sertaneja depression, characterized by the presence of a large massif (Serra do Quincuncá) and residual ridges structured in metalimestones. The morphostructure exhibits a strong influence of structural lineaments. The genesis and evolution of the karst in this region occurred through the combined action of exogenous factors, such as humidity and temperature, conditions that are not present today. Given the high temperatures and low humidity levels throughout the year, the karst morphology in the region reflects formation under past climatic conditions. These features have a specific genesis, requiring favorable climates characterized by abundant moisture, high temperatures, and ideal mineralogical components for dissolution/erosion, such as calcite and dolomite. The most common morphologies identified in the area are part of the exogenous karst, including cut walls, fluted lapiaz, lapiaz fields, and exhumed blocks. Additionally, endokarst features are present, including caves and limestone conduits.

Keywords: Karst Morphology, Geological Context, Climate Influence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	17
Figura 2 - Visão ampla do vale do São Romão, Altaneira (CE)	19
Figura 3 - Visão de imagem de satélite em 3D da área de estudo, Vale do São Romão.....	19
Figura 4 - Geologia da região do Vale do São Romão.....	22
Figura 5 - Mapa geomorfológico do vale do São Romão e circunvizinhança.....	24
Figura 6 - Média pluviométrica (mm) do vale do São Romão.....	26
Figura 7 - Solos presentes na área de estudo e circunvizinhas.....	27
Figura 8 - Hidrografia da região do Vale do São Romão.....	29
Figura 9 - O complexo sistema cárstico com a circulação da água, bem como as feições de superfície divididas em formas de recarga, residuais, descarga e de acumulação.....	31
Figura 10 - Mapa de localização das regiões de concentração de terrenos carsticos no território brasileiro.....	34
Figura 11 - Fatores que favorecem a dissolução e a precipitação para a gênese da morfologia cárstica.....	36
Figura 12 - Representação dos principais fenômenos ocasionados pela ação química no ambiente Cárstico.....	37
Figura 13 - Representação de um Pothole em corte vertical, caverna de Prevala, Sérvia.....	43
Figura 14 - Representação em corte vertical de um light hole ou Janela de caverna	44
Figura 15 - Representação das formas e processos endocársticos.....	45
Figura 16 - Principais tipos de cavernas, quanto a sua formação.....	46
Figura 17 - Representação das variações da morfologia dos condutos e cavernas em relação aos planos de acamamento e orientação das fraturas.....	47
Figura 18 - Fluxograma esquemático da pesquisa	49
Figura 19 - Roteiro da pesquisa em campo.....	52
Figura 20 - Distribuição das morfologias cársticas estudadas em campo.....	58
Figura 21 - Identificação por coordenadas das morfologias cársticas presentes na região.....	59
Figura 22 - Lapiás (Karren) expostos à superfície.....	61
Figura 23 - Visão lateral da estrutura em lapiás, com ênfase para a vegetação que à circunda.....	62
Figura 24 Visão frontal de paredão de metacalcário no vale do São Romão.....	63

Figura 25 - Carste formado por lapiás identificados na superfície lateral de paredão calcário.....	64
Figura 26 – Vista lateral do paredão calcário. (A) vista da lateral direita do paredão e em (B) vista lateral esquerda. Atentar para as feições cárticas na superfície do paredão, com conjuntos de lapiás em caneluras e condutos calcários	65
Figura 27 - Blocos residuais (Boulders) com presença de lapiás em sua cimeira	67
Figura 28 - Blocos exumados (boulders) na porção sul do vale do São Romão. Observar que a vegetação, mesmo de grande porte, se adapta as rochas calcárias.....	68
Figura 29 - Blocos de metacalcário descobertos (Boulders) na vertente SE vale. Destaca-se que o registro é do período chuvoso, evidenciado pela vegetação verde. As setas na coloração escura indicam a formação de pequenas caneluras em grande parte dos blocos residuais, possibilitando a formação de um pequeno campo de lapiás (karrenfield)	69
Figura 30 - Blocos de metacalcário descobertos (Boulders) na vertente SE vale. Destaca-se que o registro é do período de estiagem, evidenciado pela vegetação seca	69
Figura 31 - Conjunto de lapiás, caracterizando um campo de lapiás, expostos na vertente Leste do vale do São Romão.....	70
Figura 32 - Bacias de dissolução observadas na superfície de bloco residual	71
Figura 33 - Conjunto de Alvéolos na superfície de um Boulder	72
Figura 34 - Feição calcária que apresenta aparência indiscriminada, provavelmente o resultado da evolução de dissolução dos alvéolos calcários, que culminou no colapso de partes menos rígidas do bloco rochoso.....	73
Figura 35 – Lapiás em fendas na parte superficial de um bloco residual. Observar os cortes em várias direções na superfície da rocha	74
Figura 36 – Lapiás em planos de acamamento localizados na cimeira de um grande bloco residual	75
Figura 37 - Condutos calcários observados em blocos residuais.....	76
Figura 38 - Conduto calcário formado a partir de uma bacia de dissolução. No bloco em questão, observa-se que o conduto perfurou a rocha, o atravessando em sentido vertical.....	77
Figura 39 - Seção transversal idealizada de um Sistema Epigênico.....	78
Figura 40 - Esquema para identificação dos espeleotemas mais comuns encontrados nas cavernas.	80

Figura 41 - Caverna localizada em vertente do vale do São Romão. Observar a entrada da caverna, formada por blocos pontiagudos e fraturas superficiais.....	81
Figura 42 - Interior de caverna presente no vale do São Romão. Notar os espeleotemas identificados na abertura da caverna e seu interior mais profundo.....	82
Figura 43 - Abertura natural (caverna) em bloco residual. A trena está aberta em um comprimento de 30 centímetros.....	83
Figura 44 - Feição endocárstica presente em um paredão calcário. Observar a formação de grandes condutos calcários, originados a partir do escoamento subterrâneo proveniente de fraturamentos no topo do paredão.....	84
Figura 45 - Principal curso de água do Vale do São Romão. Notar a proximidade do córrego com um ponto de presença de feições cársticas, ao fundo.....	88
Figura 46 - Leito do curso d`água que corta o vale do São Romão. As setas escuras indicam o limite do leito maior do rio.....	89
Figura 47 - Conjunto de lapiás em caneluras na cimeira do paredão de lapiás, na porção norte do vale.....	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Descrição dos mapas produzidos durante a pesquisa.....	53
TABELA 2 - Identificação por coordenadas das zonas de presença do carste da região.....	59
TABELA 3 - Morfometria dos lapiás e blocos residuais identificados no vale do São Romão.....	67
TABELA 4 - Uma breve proposta de classificação dos espeleotemas.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS

CCM - COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

DRGN - DOMÍNIO RIO GRANDE DO NORTE

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

GPS - GLOBAL POSITIONING SYSTEM

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ

MDE - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

SHP – SHAPEFILE

SIG - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

SIRGAS - SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA DAS AMÉRICAS

SRTM - SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

UTM - UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

VCAN - VÓRTICES CICLÔNICOS DO ATLÂNTICO NORTE

VCAS - VÓRTICES CICLÔNICOS DE AR SUPERIORES

ZCIT - ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL

Sumário

INTRODUÇÃO	15
CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA	17
Localização.....	17
Geologia.....	20
Geomorfologia.....	23
Clima.....	25
Pluviosidade.....	25
Pedologia.....	27
Hidrografia.....	28
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	30
1.1 O sistema cárstico	30
1.1.1 Perspectiva histórica	31
1.1.2 O conceito de carste	32
1.1.3 Química do carste	35
1.1.4 Hidrologia cárstica	38
1.1.5 Influência do clima	40
1.1.6 Os ambientes cársticos	40
1.1.6.1 Exocarste	40
1.1.6.2 Endocarste	44
2 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS	49
2.1 Levantamentos Bibliográficos	50
2.2 Trabalho de campo	50
2.3 Dados utilizados	51
2.4 Produtos e processos	53
3 CARACTERIZAÇÃO DAS MORFOLOGIAS CÁRSTICAS PRESENTE NO VALE DO SÃO ROMÃO.....	55
3.1 Compartimentação geomorfológica do contexto	56
3.2. Levantamento do exocarste/epicarste.....	56
3.2.1 Lapiás em caneluras (<i>hillenkarren</i>).....	60
3.2.2 Blocos residuais (<i>Bouders</i>)	66
3.2.3 Campos de lapiás (<i>karrenfield</i>)	68
3.2.4 Bacias de dissolução (<i>Karremanezitas</i>).....	70
3.2.5 Alvéolos.....	72
3.2.6 Lapiás em fendas (<i>Kluftkarren</i>)	74
3.2.7 Lapiás em planos de acamamento (<i>Schichtfugenkarren</i>)	75
3.3 – Endocarste	76

3.3.1 Microformas do endocarste – condutos calcários.....	76
3.3.2 Cavernas epigênicas ou epigenéticas.....	78
3.4 Aspectos evolutivos do carste da região.....	84
4 CONCLUSÃO.....	91
REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICE.....	100

INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos de Geomorfologia cárstica no Brasil empenharam-se na descrição da geomorfologia regional, destacando-se nesse contexto os trabalhos de Tricart (1956); Coutard et al. (1978); Kohler et al. (1978); Kohler (1989). A partir da década de 1990, a Geomorfologia cárstica recebeu contribuições importantes com a aplicação de novas abordagens de pesquisa, com ênfase no estudo quantitativo, sendo pioneiros no Brasil os trabalhos de Karmann (1994) e Auler (1994), abordando o temário hidrologia e hidroquímica no carste de Vale do Ribeira (SP) e Matozinhos e Pedro Leopoldo (MG), respectivamente.

Ademais, destaca-se na literatura especializada os trabalhos de Corrêa-Neto et al. (1993), Karmann (1994), Auler (1999), ambos realizando pesquisas no endocarste (Piló, 2000). Pode-se destacar ainda, os recentes estudos sobre o Quaternário, com contribuições de Coutard et al. (1978), Kohler (1989), Auler (1999), dentre outros. De acordo com Moura (2017), o estudo geomorfológico do Nordeste brasileiro esteve por muitos anos atrelado a concepção climática, podendo-se destacar os trabalhos de Crandall (1910), Ab'Saber (1953), Feio (1954), King (1956), Tricart (1959), Bigarella (1975), Damasceno (1981), dentre outros.

O Nordeste brasileiro, mais especificamente, o semiárido cearense, apresenta uma grande variedade de morfologias, em gênese e evolução. Nesse contexto, um tipo de feição que se destaca no ambiente semiárido, é a morfologia cárstica, com características genéticas e evolutivas diferenciadas, tendo formação atrelada a condições climáticas especiais, com clima úmido e com grande aporte pluvial. As rochas calcárias, sendo muito propícias ao processo de dissolução rápido e intenso, tendem a chamar mais atenção por sua particular morfologia, algo que há séculos atrai o interesse de muitos pesquisadores (Pessoa, 2005). A título de esclarecimento, considera-se morfologia o modelado externo de rochas ou blocos de rochas que se encontram à superfície ou no subsolo, que passaram por processos denudacionais, em âmbito físico-químico (Guerra, 1994).

Assim, terrenos cárticos são locais onde ocorrem *karren*, dolinas, vales cegos e *poljes* de formas superficiais do terreno. Nestes locais podem ocorrer cavernas e rios subterrâneos, além disso, é relativamente comum ocorrerem desmoronamentos abruptos da superfície, o que configuram algumas destas formas superficiais como área de risco (Cvijić, 2017).

A morfologia cárstica é, por si só, única e distinta em uma paisagem. São padrões locais de relevo que escapam aos modelados habituais, geralmente, dominantes por grandes espaços. Por

esse motivo, trata-se de feições do relevo que pressupõem uma convergência de variáveis, i. e., um agrupamento de variáveis litológicas, climáticas, pedológicas, pluviométricas entre outras, que contribuem para a formação e evolução das morfologias do carste. Diferente do agrupamento comum de variáveis que atuam na elaboração das paisagens comuns, com maior grau de monotonia em grandes tratos do espaço de uma região natural qualquer (Ab'sáber, 1956).

A morfologia cárstica está presente em cerca de 15% da superfície terrestre (Ford; Willians, 2007). Apesar da predominância de rochas carbonáticas como o calcário, mármore e dolomitos na formação de feições do carste, é possível a estruturação destas morfologias em outros tipos de rochas, como os evaporitos. Com base nas condições climáticas predominantes, estas feições, quando identificadas em ambientes áridos ou secos, podem ser interpretadas como geomorfologias herdadas de paleoclimas, períodos com precipitações expressivas e condições de umidade favoráveis a dissolução da rocha (Bigarella et al. 2009 apud Bastos, 2018).

Na região do vale do São Romão, mais especificamente, entre as cidades de Altaneira e Farias Brito, sul do estado do Ceará, há a ocorrência de ambientes cársticos, sendo apresentados em feições de metacalcários expostos, formando morfologias típicas do carste, como os campos de lapiás (Cordeiro, 2017). As referidas feições, presentes no local, trazem à tona uma série de questionamentos e problematizações, uma vez que os terrenos cársticos da região foram pouco abordados em estudos científicos.

Nesse sentido, observa-se que existe uma lacuna de trabalhos que abordem as feições do carste da região de forma mais ampla e profunda, trazendo análises de distribuição, tipos e evolução destas morfologias. Tal fato, justifica a necessidade desta pesquisa, tendo como objetivo estudar as morfologias cársticas do local, suas características tipológicas e sua distribuição espacial.

O problema central deste trabalho recai sobre a necessidade de entender as características geomorfológicas do carste produzido sobre as cristas residuais sustentadas no metacalcário do vale do São Romão. Trata-se de uma litologia distinta em meio as demais, constituídas predominantemente de rochas sedimentares e metamórficas, com grande presença de gnaisses, granitoides, dentre outras.

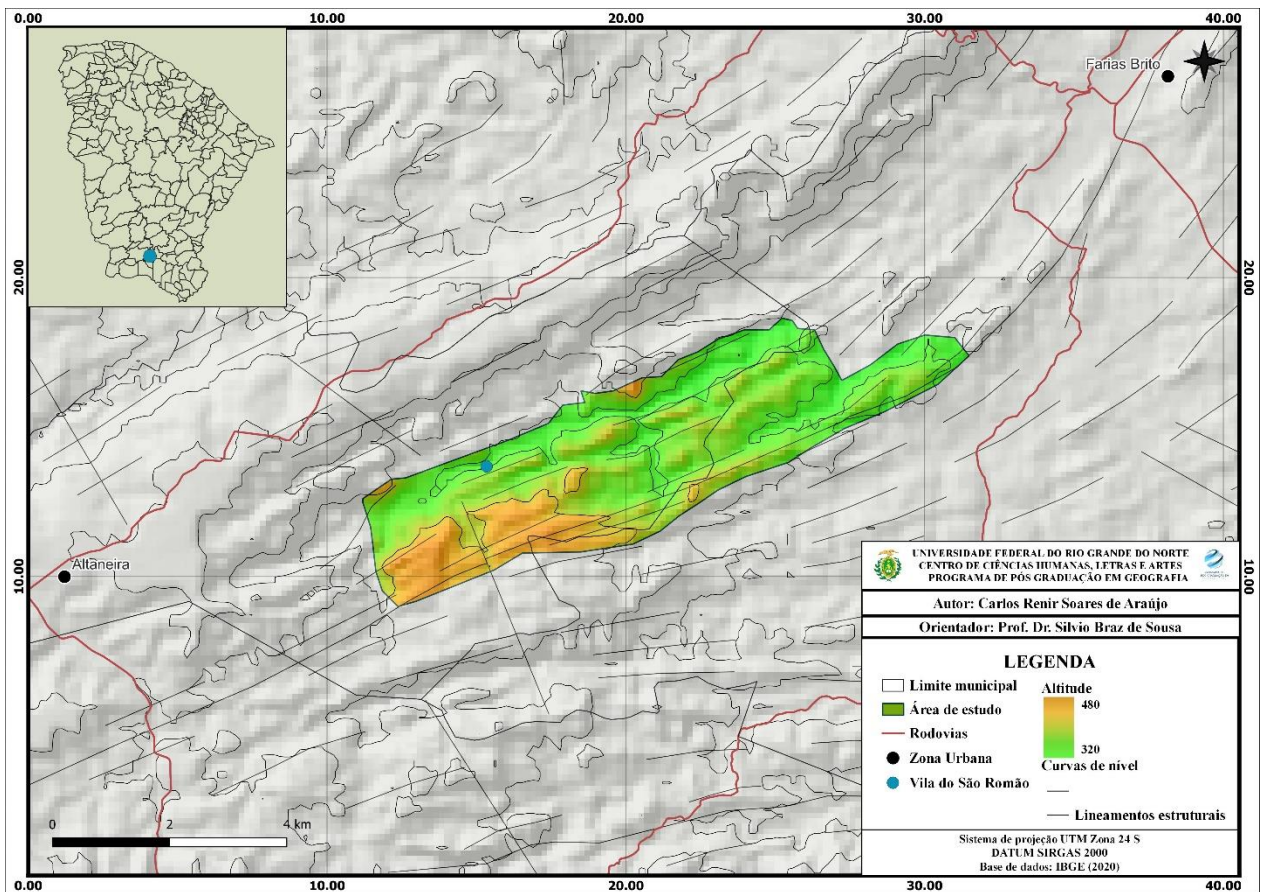
A partir disso, questiona-se: quais as características e tipos de feições cársticas presentes no vale do São Romão? E qual a sua distribuição espacial?

CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA

Localização

A morfologia cárstica presente no vale do São Romão, em adjacente ao maciço Quincuncá, situa-se precisamente a NE do distrito sede do município de Altaneira e a SW do distrito sede do município de Farias Brito, sul do estado do Ceará (Figura 1). Faz parte da porção Norte da Folha de Juazeiro do Norte (SB. 24-Y-D), estando presente na porção Sul da Folha de Iguatu (SB. 24-Y-B), ambas pertencentes as cartas geológicas da CPRM, na escala de 1:250.000. A área de estudo pode ser localizada nas seguintes coordenadas: Latitude 6°58'3476" S; Longitude 39°38'59 68" O.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A região em estudo encontra-se inicialmente definida no mapeamento geológico de Cordeiro (2017). A delimitação do recorte de estudo se deu pelo uso imagens de satélite, e mapeamento geomorfológico e geológico, extrapolando o mapeamento realizado na primeira delimitação da área, realizada por Cordeiro (2017).

É importante destacar, que há a ocorrência de uma área com influência de lineamentos estruturais, dando origem a cristas residuais, na porção Sudeste da área em estudo, entretanto, fora do recorte da pesquisa, pois não está configurada como região de presença de metacalcários, tanto pela ausência de dados sobre este tipo de rocha no local, por parte da CPRM (2021), quanto pela ausência de litologias calcárias exumadas, tais como os blocos residuais ou lapiás, que não foram identificados no trabalho de campo.

A escala temporal deste trabalho, situa-se em análises do Pleistoceno superior e Holoceno, dentro do período Quaternário, onde se encontravam as características climáticas ideais para a gênese e evolução das feições cársticas em estudo (Oliveira et al., 2014); (Vasconcelos et al., 1994); (Piló, 2000); (Auler et al., 2005).

O município de Altaneira e Farias Brito, onde se localiza o vale do São Romão, estão localizados na região imediata e intermediária de Juazeiro do Norte. Se encontram a uma elevação média de 670 metros, sendo seu ponto de maior altitude a serra ou maciço do Quincuncá. O clima dos municípios é o Tropical Quente Semiárido com precipitação média anual de 974,3 mm, concentrando-se principalmente entre os meses de fevereiro a abril. Conta com uma temperatura variando entre 24° a 27° graus (IPECE, 2009).

Com relação a sua Geografia, os municípios se encontram localizados na Depressão Sertaneja, ambientado em meio aos Maciços Residuais. Seus solos mais comuns são, Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa Estruturada Similar e Argissolos Vermelho-Amarelo. Quanto a vegetação, pode ser identificado no município a Floresta Caducifólia Espinhosa e Cerrado Alto Jaguaribe (IPECE, 2009).

Cordeiro (2017), ainda destaca que a composição vegetal é formada por caatinga de porte arbóreo-arbustivo semidecídua. Em suma, é uma região com grandes particularidades geológico-geomorfológicas, climáticas, pedológicas e que possui grande potencial científico.

O vale do São Romão (figura 2, 3) apresenta uma paisagem preenchida por serras, serrotes e zonas de deposição sedimentar (canais de drenagem), onde ocorre a atividade dos cursos d'água perenes que realizam a drenagem na região. Nessa unidade, que corresponde a cerca de 28,2 km², a altimetria média se encontra entre 345 à 387 metros. O vale do São Romão conta com uma sede (distrito do município de Altaneira), uma vila que se estende por grande parte da região do vale. A vila está localizada na porção central do fundo do vale, paralela à vertente do maciço granítico do Quincuncá (Oeste) e as cristas residuais (a Leste).

Figura 2 – Fotografia que apresenta uma visão ampla do vale do São Romão, Altaneira (CE)



Fonte: Autor (2022).

Figura 3 – Visão de imagem de satélite em 3D da área de estudo, Vale do São Romão



Fonte: Google Earth PRO (2023).

O vale do São Romão é resultado do contato da extremidade Leste do maciço do Quincuncá, com a depressão sertaneja, preenchida pelos lineamentos de cristas residuais em metacalcário (Cordeiro, 2017), configurando o local, como uma paisagem de serras, serrotes e zonas de

deposição (drenagem por cursos d'água). No fundo do vale, zona de deposição de maior dimensão, caracteriza o vale como encaixado, com vertentes com ondulação de média a forte.

Os vales possuem diferentes formas, tamanhos e características genéticas, configurando-se em uma depressão topográfica alongada, aberta, inclinada em uma determinada direção em toda a sua extensão, que pode ser ou não ocupada por água. Os vales podem ser dos tipos: fluvial, glacial, suspensos e de falha (Travassos et al., 2015).

Ao contrário das demais unidades morfopedológicas, a sequência de cristas residuais presentes na região, estão em grande parte sustentadas por metacalcários da formação Independência, (antiga formação Farias Brito) parte do grupo Ceará, formando pináculos associados a forte presença de lapiés. (Cordeiro, 2017, p. 191).

Com relação a formação geológica destacada, cabe mencionar que houve uma atualização de nomenclaturas para a litologia da região por parte de novo mapeamento e divisão litológica da CPRM, no ano de 2021. Portanto, a nomenclatura de formação Farias Brito, ligada a presença de dos metacalcários, passou a ser substituída por Formação Independência, não havendo mais o uso da denominação anterior.

Geologia

O Nordeste brasileiro é repleto de paisagens, formas e processos diversos, contando com uma natureza única no planeta. O relevo presente na região Nordeste é um exemplo da grande variedade de formas e processos naturais ocorrentes na região, apresentando áreas com grandes depressões, chapadas sedimentares, serras, *inselbergs*, planícies costeiras, entre outras formações (Moura, 2017).

A região em destaque neste estudo, se encontra inserida no contexto geológico e tectônico da porção setentrional da Província da Borborema, Domínio Rio Grande do Norte (DRGN). A Província Borborema é uma das regiões litológicas do Brasil mais ricas em registros geológicos, refletindo as complexas relações existentes entre processos exógenos e endógenos. Os numerosos registros de magmatismo cenozóico, bacias sedimentares interioranas e costeiras, superfícies de erosão e profundos perfis de intemperismo são alguns exemplos das feições encontradas nesta província, que constituem uma excepcional ferramenta para o entendimento das relações existentes entre os processos exógenos e endógenos da região Nordeste (Lima, 2008).

O relevo da área de estudo, corresponde a um conjunto de terras altas contínuas ao norte da Chapada do Araripe, desenvolvidos em litotipos variados, com destaque para a porção leste da chamada serra do Quincuncá. (Cordeiro, 2017). É parte integrante da depressão sertaneja, apresentando um relevo sobressalente em relação a morfologia circunvizinha, com uma altimetria média de 375m, podendo chegar a 550 metros máximos. Possui padrões de dissecação orientados segundo a direção da zona de cisalhamento transcorrente. Ocupa uma área de 28,2 km², com alinhamento morfológico na direção NE-SW, inserido no setor Norte da Província Borborema, no Domínio do Rio Grande do Norte (DRGN).

O lineamento Transbraziliano (LTB) é caracterizado como uma longa faixa de falhas, apresentando alta intensidade de falhamentos em seu curso. (Schobbenhaus, 1975). O mesmo autor ainda destaca que,

Durante os trabalhos de compilação do projeto Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, foi observado, através da montagem de diversas folhas, a existência de um lineamento que atravessa o Brasil de Nordeste a Sudoeste, prosseguindo em direção aos territórios do Paraguai e Argentina, ao longo do Rio Paraguai (SCHOBHENHAUS, 1975).

O atual contexto geológico do estado do Ceará, em particular, da região do vale do São Romão, é influenciado diretamente pelos falhamentos associados ao lineamento Transbraziliano, apresentando falhamentos em praticamente todo o Sul e Centro-Sul do estado.

A área de estudo, no vale do São Romão, encontra-se composta por litologias distintas, entre elas, destacam-se os gnaisses e metacalcários da Formação Independência (antiga formação Farias Brito), ocorrendo em estreitas faixas, alongadas e não contínuas na direção NE-SW a NNE-SSW, estendendo-se desde a sede do município de Farias Brito, até o Distrito do São Romão, no município de Altaneira (Cordeiro, 2017).

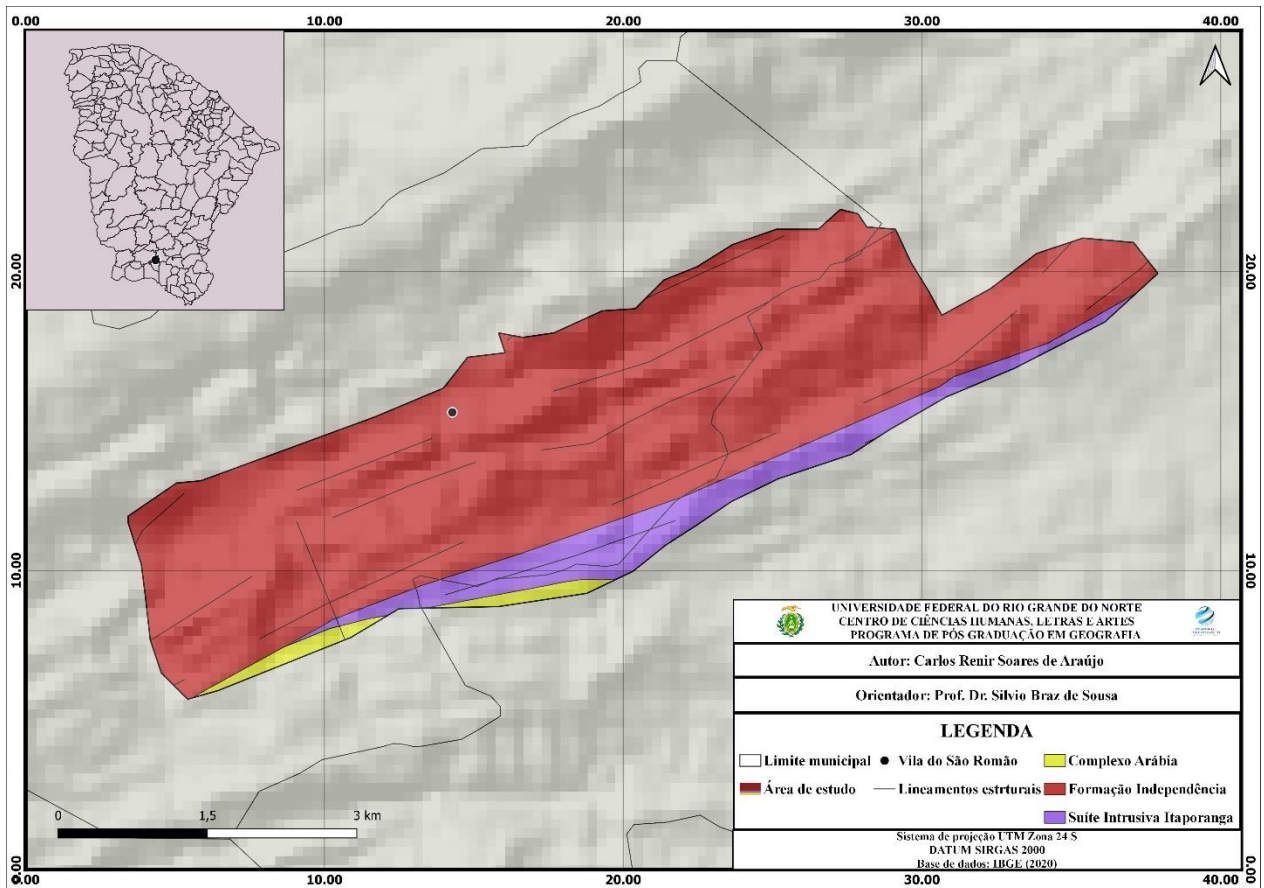
No que tange a Geologia da região, (figura 4) ressalta-se inicialmente a grande variedade de litotipos e processos ligados aos mesmos. Por esse motivo é imprescindível que se analise a Geologia de maneira integrada, uma vez que a mesma é a responsável direta e indiretamente pelas formas de relevo superficiais e subsuperficiais. Como destacado por Lima (1995),

Assim sendo, pode-se observar que a presença de chapadões relaciona-se a seqüências sedimentares horizontais, da mesma forma que a ocorrência de cristas e vales associa-se a seqüências metassedimentares dobradas, ou então a ocorrência de formas mamelonares e pães-de-açúcar referencia-se a complexos ígneos (Lima, 1995, p. 54).

A região é formada por afloramentos com resistência litológica do núcleo intrusivo, formado pelas suítes: Itaporanga (NP3y2i), Serra do Deserto (PP4sd) e Gabroide (NP382), trazendo

também gnaisses, metacalcários, micaxistos, ortognaisses, migmatizados e tonalíticos, que formam o embasamento metamórfico encaixante (Cordeiro, 2017). Na figura 4, é apresentado um mapa das formações litológicas que passam pela área em estudo, com destaque para a formação Independência.

Figura 4 – Geologia da região do vale do São Romão



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

É formado predominantemente por alinhamentos de crista residuais e semiconvexas (Cordeiro, 2018). Sobre a litologia circunvizinha do maciço do Quincuncá, abrangendo o vale do São Romão, Cordeiro (2017) destaca que,

A Serra do Quincuncá, localizada na mesorregião centro sul do Estado Ceará, disposta de forma alongada e fortemente dissecada por vales incisivos, constitui um importante registro de evolução morfotectônica e morfoclimática regional. Trata-se de um relevo residual cristalino, disperso pela depressão sertaneja, ocupando uma área 775,09km² e, invariavelmente, alinhado na direção NE-SW, modelado em granitoides de idade sin a tardi-proterozóica, relativos à Orogênese Brasileira. Sua evolução geomorfológica é comandada por processos de erosão diferencial, em virtude de sua constituição geológica resistente derivar de rochas intrusivas plutônicas ou parametamórficas no caso das cristas alongadas, nas direções dos *trends* estruturais, que compõem o seu entorno (Cordeiro, 2017, p. 107).

A litologia metacalcária do vale do São Romão, apresenta potencial para a ocorrência de cavernas, estando enquadrada com uma potencialidade média nos mais recentes mapeamentos do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) para a existência de cavernas. Estes mapeamentos foram produzidos no ano de 2012 e trabalham em várias escalas, cobrindo todo o território Brasileiro.

A Formação Independência (NP2ci) é constituída, principalmente, por xistos aluminosos e paragnaisses, por vezes migmatítico, com lentes/camadas localizadas de quartzitos, rochas calcisilicáticas, mármore, anfibolitos e rochas metavulcânicas félsicas, com idades variando de 650 à 770 milhões de anos (CPRM, 2021).

Os metacalcários possuem características genéticas e evolutivas peculiares. Em essência, são formados pelos movimentos de metaformismos de classificação branda, dando características como a cristalização, sendo a mesma maciça. Caso este fenômeno de metamorfismo se concretize como forte, haverá a formação de um calcário com características distintas, como no caso dos mármore cristalinos (Karmann, 1979).

Geomorfologia

A Geomorfologia da região do vale do São Romão e entorno, é composta por morfologias distintas, apresentando em sua maior parte topos aguçados, se traduzindo em morfologias como pequenas serras e serrotes, com topos côncavos e vertentes relativamente dissecadas, com ângulos de inclinação que podem variar de 30° até cerca de 70°. O relevo da área, (figura 5), corresponde a um conjunto de terras altas contínuas, ao norte da Chapada do Araripe, desenvolvidos em litotipos variados, com destaque para as cristas esculpidas em metacalcários do vale do São Romão (Cordeiro, 2017).

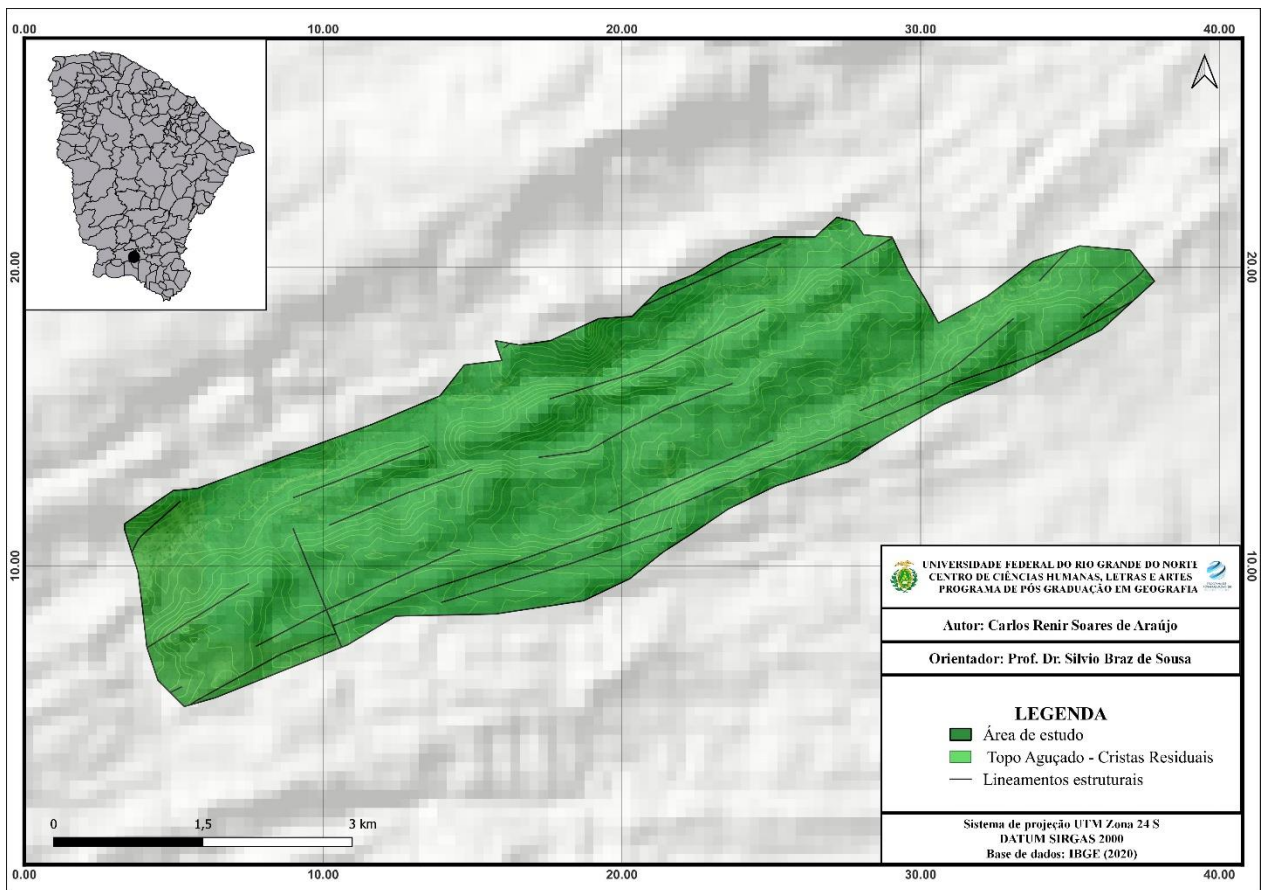
A paisagem verificada no local, possui uma série de elementos diversificados, de ordem biótica e abiótica. Os elementos do relevo, tais como as cristas residuais semiconvexas e o maciço do Quincuncá são os grandes destaques paisagísticos da região. A morfologia única do relevo do São Romão é compreendida através do uso da terra, com as atividades agrícolas e pecuárias restritas aos pontos de menor declividade e altitude. Como destacado por Vitte (2007),

A paisagem emerge na análise geográfica carregada de simbolismo, sendo responsável pela constituição do imaginário social que atua na condução da ação dos atores sociais, ao mesmo tempo em que mediatiza a representação do território por estes mesmos atores.

Neste sentido, a paisagem como categoria social é construída pelo imaginário coletivo, historicamente determinado, que lhe atribui uma determinada função social (Vitte, 2007 p. 72).

É parte integrante da depressão sertaneja, apresentando um relevo sobressalente em relação a morfologia circunvizinha, com uma altimetria média de 375m, podendo chegar a 550 metros máximos. Possui padrões de dissecção orientados segundo a direção da zona de cisalhamento transcorrente (Farias Brito). Ocupa uma área de 28,2 km², com alinhamento morfológico na direção NE-SW, inserido no setor Norte da Província Borborema, no Domínio do Rio Grande do Norte (DRGN).

Figura 5 – Mapa geomorfológico do vale do São Romão e circunvizinhança.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os lineamentos de cristas residuais encontrados na paisagem do vale possuem vertentes irregulares, variando em ondulações com ângulos de 20° a 75°. As cristas residuais, que formam as menores unidades, como os serrotes ou topos aguçados, possuem dissecção parcial. Os alinhamentos de cristas se apresentam como assimétrica, com característica forte-ondulado.

Clima

Os principais sistemas atmosféricos que garantem a manutenção das chuvas na porção sul do estado do Ceará são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) formada pela confluência dos ventos alísios de NE e SE que atua entre os meses de fevereiro e abril, os Vórtices Ciclônicos de Ar Superiores (VCAS) que se formam no Atlântico entre os meses de novembro à março, e atingem o continente em um movimento de leste direção oeste, e também, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (Lima, 2015).

O clima atuante na região é o tropical semiárido, apresentando temperaturas elevadas durante quase todo o ano, com temperaturas médias oscilando entre os 25° à 27° ao longo do ano. Apresenta uma pluviosidade média anual em torno de 900mm, estando com maior parte desse aporte de umidade concentrado nos quatro primeiros meses do ano, coincidindo com a quadra chuvosa. Segundo a Köppen e Geiger o clima da região é classificado como Aw. tem uma temperatura média de 26,0 °C e a média anual de pluviosidade é de 870 mm.

Sobre o clima tropical quente semiárido, Mendonça e Oliveira (2007) destacam que:

Durante a maior parte do ano, apresenta redução dos totais pluviométricos mensais e elevadas temperaturas. A variação sazonal da temperatura média não é tão expressiva, o que leva a formação de áreas em que se observam quedas térmicas pouco expressivas na situação de inverno (Mendonça; Oliveira, 2007, p. 162)

O clima tropical semiárido, predominante em toda região interiorana do estado do Ceará e parte de Pernambuco, apresentando características que aparecem retratadas pela vegetação xerófila (caatinga), com a presença de escoamento hidrográfico intermitente e solos, em sua maioria, incipientes, além de apresentar morfologias únicas na região, como os *inselbergs* (Almeida, 2016).

Pluviosidade

Uma das principais ações de modelagem do relevo da região é ocasionada por precipitações rápidas e fortes, culminando no processo de desagregação ou erosão física da litologia da área, em especial, dos metacalcários. A área se localiza a barlavento da serra do Quincuncá, (Porção oeste do Vale) citado anteriormente, provendo anualmente um aporte de umidade do ar e no solo mais abundante em relação as regiões de entorno. Por si só, não apresenta grande volume de precipitação, mas se trata de um volume considerável em relação a porção de sotavento do maciço

do Quincuncá. A seguir, (figura 6), é apresentado um panorama da diferença pluviométrica da região.

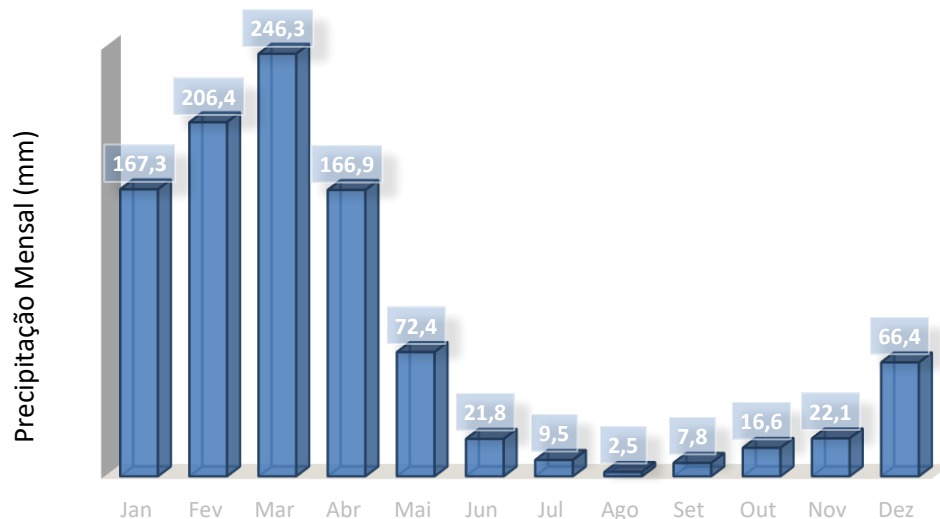
Na borda leste do maciço do Quincuncá, há a incidência de grandes volumes de precipitação ao longo dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, em relação ao lado ocidental do maciço:

A influência direta do Maciço do Quincuncá, nos totais pluviométricos e, conseqüentemente, nas paisagens sertanejas, situadas a sotavento, onde maiores deficiências hídricas se evidenciam, pode ser constatada quando se compara o comportamento das precipitações anuais dos municípios de Farias Brito e Tarrafas, onde a diferenciação pluviométrica entre áreas próximas é considerável (Cordeiro, 2017, p. 38).

Tal diferença na quantidade milimétrica de precipitação entre o leste e oeste do maciço, é explicada pela presença altimétrica do mesmo, que atua na função de barreira para parte da umidade que anualmente chega à região, proveniente principalmente das massas de ar que se deslocam até o Nordeste, no período entre o final de dezembro e início de janeiro.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema sinótico provocador da chamada quadra chuvosa, na região, atuando de modo mais expressivo em meados do verão, e atingindo sua maior frequência no outono (março-abril), onde alcança sua posição mais meridional (Nimer, 1979).

Figura 6 – Média pluviométrica (mm) do vale do São Romão



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em FUNCEME (2021).

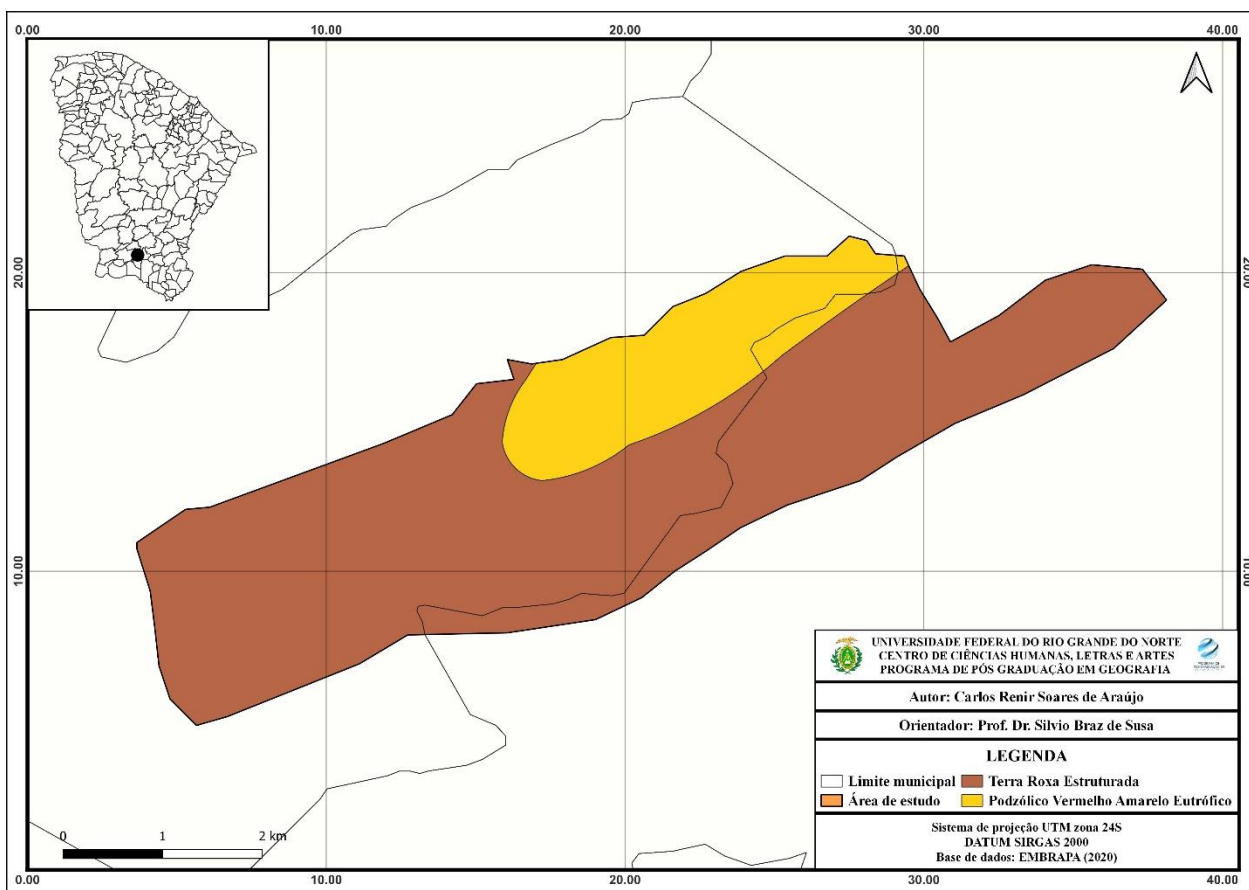
Além da interferência direta da altimetria do maciço do Quincuncá, destaca-se ainda a atuação da chapada do Araripe no fomento de umidade da região, uma vez que a chapada tem a

função indireta de “desviar” parte da umidade que se desloca para o sul do Estado do Ceará e norte do Estado de Pernambuco, no último caso, a sotavento da chapada do Araripe.

Pedologia

O sul cearense, mais especificamente, o Cariri cearense, apresenta uma grande diversidade de solos, ocasionado pelas diferenças litológicas, hidrológicas, pluviométricas e altimétricas, da região. Por conseguinte, a região em apreço apresenta variação de solos, com presença predominante do Cambissolos Hápticos Ta Eutrófico associados ao Chernossolo Háptico Órtico e Argissolo Vermelho Amarelo, especialmente Eutrófico (Cordeiro, 2017). A seguir, (figura 7) o mapa destaca os principais tipos de solos presentes na região e seu entorno.

Figura 7 – Solos presentes na área de estudo e circunvizinhança



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Hidrografia

Na região em estudo, localizada no Vale do São Romão, a rede de drenagem indica padrões típicos de um controle litoestrutural sob a região, onde se pode destacar o padrão treliça, retangular e subparalelo, confinados por uma sequência de cristas residuais na direção NE-SW (Cordeiro, 2017). Estas cristas atuam no confinamento de uma série de pequenos córregos que cortam a região. Dessa forma, há uma ligação direta entre a dissecação na área com maior fluxo de água, durante o período chuvoso, em relação a que se encontra a jusante da posição de “nascimento” dos cursos d’água do local.

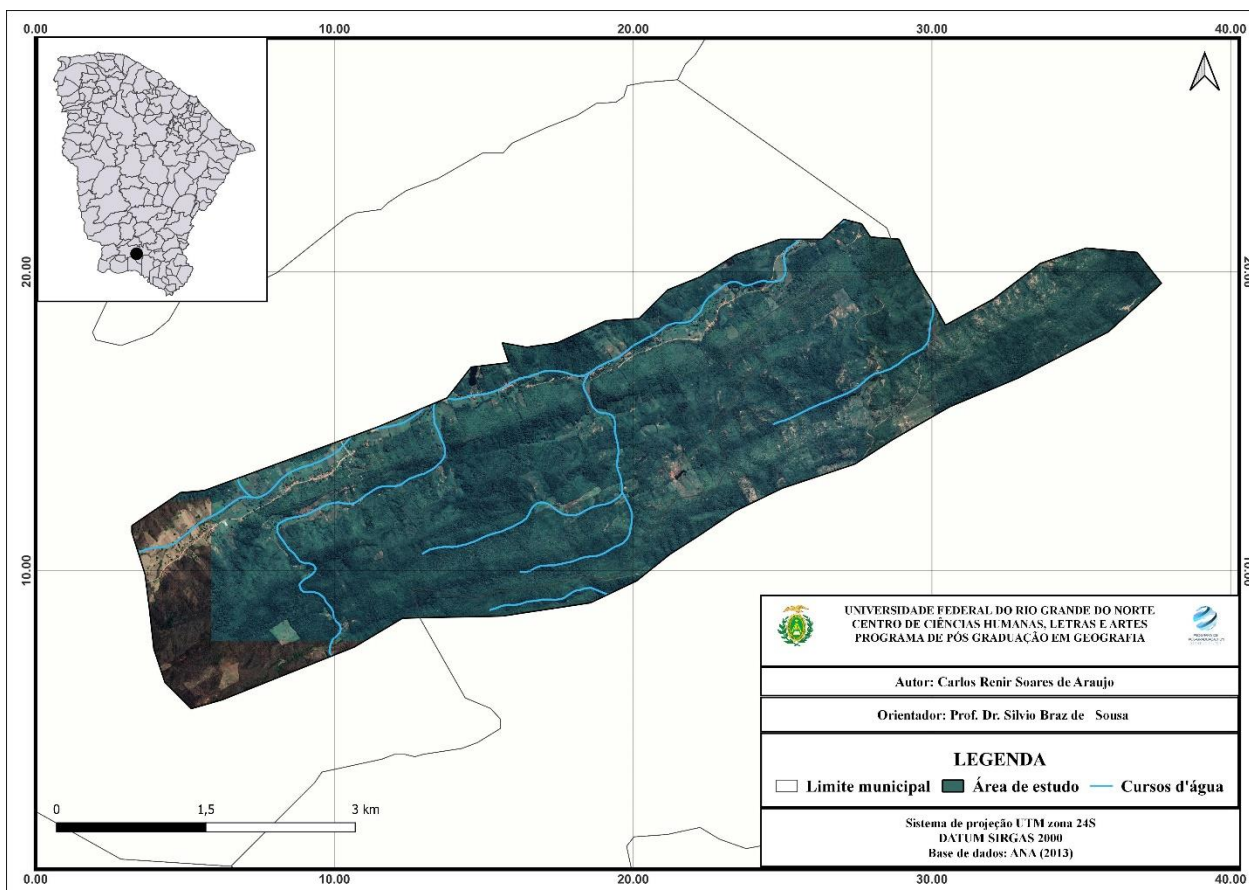
É pertencente a sub - bacia hidrográfica do alto Jaguaribe, que faz parte da bacia do Rio Jaguaribe. Possui alguns pequenos córregos intermitentes entre as vertentes das cristas que compõem o vale, apresentando um córrego de maiores dimensões, nomeado de Romão, em referência ao distrito que dá nome a região.

A partir da análise do comportamento da rede de drenagem (figura 8), os seus padrões, formas e morfometria, torna-se possível o entendimento das características do contexto geológico, geomorfológico, além dos processos estruturais atuantes em determinadas áreas (Couto et al., 2011).

Entre as propriedades geomorfológicas das rochas, destaca-se o grau de coesão, plasticidade e permeabilidade como elementos que influenciam diretamente no escoamento superficial, além de que o grau de macicez e o tamanho dos grãos influenciam na desagregação mecânica, e o grau de solubilidade e heterogeneidade influem na decomposição química (Penteado, 1986).

Tendo em vista a grande variedade das propriedades e reflexos morfológicos, a análise dos relevos, em um determinado recorte geográfico, deve considerar os seus aspectos litológicos, dessa forma, quanto maior for a diversidade de rochas, maior deverá ser a diversidade morfológica. (Cordeiro, 2017).

Figura 8 – Hidrografia do vale do São Romão



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A zona em estudo nesta pesquisa é caracterizada por sua paisagem diferenciada, em meio a Geomorfologia circundante, apresentando serras, cristas residuais, córregos e amplas zonas de deposição sedimentar.

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 O sistema cárstico

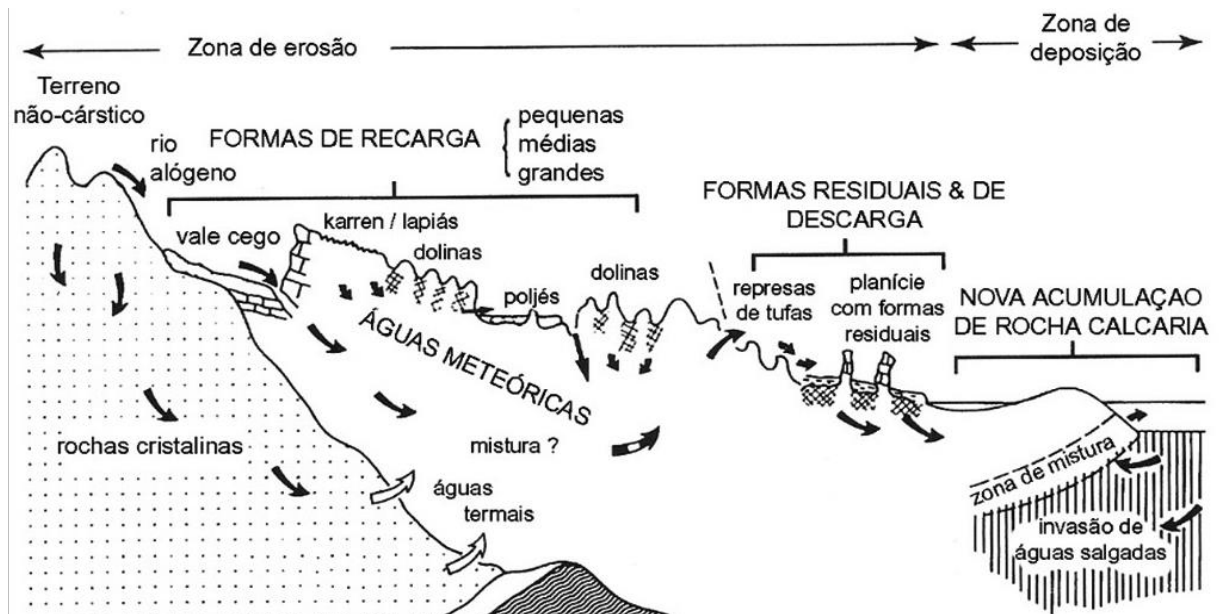
Este capítulo é dedicado a investigação da evolução histórica do carste, conceitos do mesmo e influências geradas pelo fator químico, hidrológico e climático. Embora o conhecimento sobre a citada morfologia, esteja presente na História humana, muitos dos conceitos academicamente aceitos, só vieram a validação e desenvolvimento a partir do século XIX.

Compreender a evolução das propriedades da água que percola por uma estrutura carbonática é indispensável para compreensão dos processos cársticos. Para tanto, faz-se necessário uma análise de cunho geral e específico, buscando abordar os diversos elementos e processos componentes da paisagem em determinado ambiente.

Desde a sua formação na atmosfera, até sua saída do sistema por meio de uma nascente, uma única gota de água interage com diferentes ambientes, em diferentes níveis. Temos, assim, sua interação com a atmosfera, o solo, a biosfera, rocha e a água no aquífero e em outros reservatórios (Gilli, 2015). Além das rochas solúveis, tem-se que mencionar outros elementos cruciais, como o clima, a vegetação e o solo, que constituem fatores preponderantes para a formação do carste (Meneses, 2003).

Tratando desse sistema como um todo, (figura 9), é necessário citar os principais tipos de morfologias superficiais, uma vez que foram estes os alvos centrais da pesquisa em campo. Sobre as mesmas, destaca-se um esquema produzido por Ford e Willians (2007), em que são apresentadas as principais formas superficiais do referido ambiente, bem como a circulação de água do sistema.

Figura 9 - O complexo sistema cárstico com a circulação da água, bem como as feições de superfície divididas em formas de recarga, residuais, descarga e de acumulação.



Fonte: Adaptado de Ford e Williams (2007).

Esse abrangente sistema envolve inúmeros processos e consiga, formas. Como destacado por Travassos (2019, p. 74) “Quando o assunto é o carste, maior destaque deve ser dado às depressões fechadas, que são consideradas as feições mais características desse tipo de paisagem e que pertencem à categoria das meso e macroformas.” Esse tipo de calcário é formado como resultado da precipitação do CaCO_3 em uma solução supersaturada. É encontrado principalmente nas regiões de massas continentais (Travassos, 2019).

1.2 Perspectiva histórica da Geomorfologia Cárstica

A ciência Geomorfológica sofreu grandes alterações durante o fim do século XIX e o início do século XX, destacando-se o sistema de William Morris Davis (1889), com sua primeira interpretação dinâmica da evolução geral do relevo, o conhecido “ciclo de erosão geográfico” (Cassetti, 2005). Tratou-se de um período de grandes contribuições, com novas perspectivas metodológicas, novos conceitos e métodos de pesquisa, como colocado por Marques (2015),

O desenvolvimento científico e tecnológico possibilitou a utilização de novos meios – mapas topográficos mais precisos, fotografias aéreas, instrumentos e equipamentos mais sofisticados para trabalhos de campo e de laboratório – assim como assimilar os avanços em outros campos do conhecimento humano, que direta ou indiretamente poderiam influenciar o seu objeto de estudo (Marques, 2015, p. 32 - 33).

Os primeiros modelos propostos para descrição e entendimento da evolução do carste foram elaborados por Albrecht Penck e Willian Morris Davis, após um intercâmbio realizado na Bósnia entre 1900 e 1901. A. Grund (1903, 1910) teve importante contribuição no estudo da gênese deste relevo, quando realizou trabalhos acerca das planícies cársticas e dos poljes e logo depois propôs modelos de evolução desta morfologia, baseada na teoria do ciclo geográfico de Willian Morris Davis.

No Brasil, os estudos Geomorfológicos tiveram elevada expansão nos últimos 50 anos (Marques, 2015). No Nordeste, os primeiros estudos geomorfológicos com grande relevância foram realizados a partir da década de 1950 por Lester King (1956) e trabalhos posteriores de Dresch (1957), Demangeot (1960), Bigarella e Andrade (1964), Ab'Sáber (1969), entre outros, trazendo a análise de evolução do relevo do Nordeste baseado nos fundamentos de ciclos de soerguimento e rebaixamento condicionados por epirogênias pós-cretáceas, seguidas por processos de dissecação e pediplanação, produzindo um relevo variado, com grandes áreas de pediplanos, serras e serrotes, inselbergs e depressões. Segundo Vitte (2011):

A partir de 1950, a geomorfologia brasileira passou por uma grande ruptura paradigmática com o surgimento da Teoria da Pediplanação associada a grandes transformações no interior da geologia, particularmente no que tange à sedimentologia e à estratigrafia, ao surgimento de novas técnicas de representação e de aquisição de informações, levou a uma ruptura paragnática (Vitte, 2011, p. 96).

Os primeiros trabalhos utilizando o modelo de superfícies de aplainamento para descrição da evolução do relevo do Nordeste brasileiro foram produzidos por Dresch (1957), Demangeot (1960) e Ab'Sáber (1969) (Cordeiro, 2017). Para Moura (2017), a ciência geomorfológica permaneceu por muitos anos associada a concepções climáticas, sendo relacionada a fenômenos pretéritos de denudação, que indicavam ligação direta com as superfícies erosionais atuais.

Pode-se destacar ainda os trabalhos valiosos desenvolvidos por Jovan Cvijić (1865-1927), que trouxe contribuições para a descrição de feições e processos atuantes no exocarste e epicarste, principalmente na descrição de terrenos cársticos do norte da Europa.

1.1.7 O conceito de carste

A Geomorfologia cárstica é uma sub área da ciência geomorfológica. Esta área da geomorfologia, tem como objeto de estudo a forma, gênese e dinâmica dos relevos produzidos

sobre rochas solúveis pela água, como as carbonáticas e os evaporitos e outras com menor grau de solubilidade, como os quartzitos, granitos, basaltos, entre outras (Kohler, 1994).

Nestas condições, o relevo apresenta alguns modelados específicos como: dolinas, vales cegos, paredões, lapiás, entre outros (Piló, 2000). Como destacado por Penteado (1983), “o aspecto mais característico do relevo cárstico é a ausência de rede de drenagem organizada e de erosão superficial; desenvolvimento de cavernas e galerias onde se salientam formas bizarras de estalactites e estalagmites; rios subterrâneos e canyons, no caso de rios alógenos” (Penteado, 1983, p. 28).

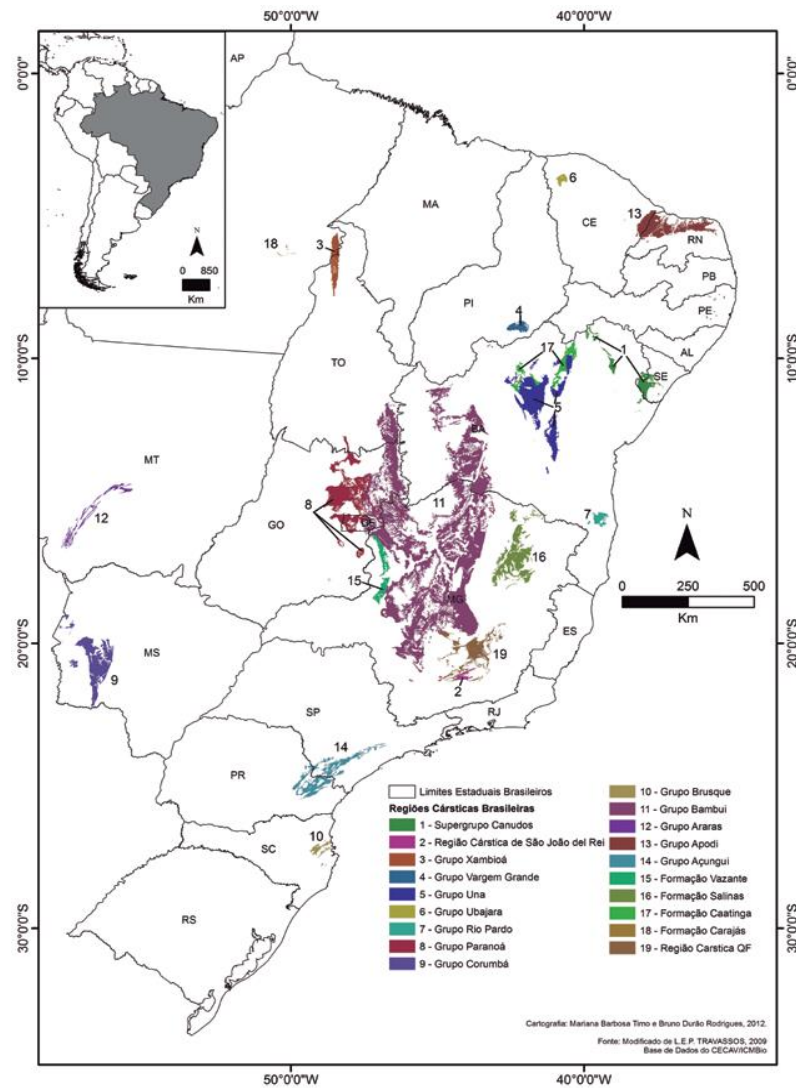
O Karst é uma topografia típica de terrenos calcários, tendo como exemplo aqueles que aparecem no noroeste da península balcânica (Guerra, 1997). Trata-se de um termo utilizado de forma ampla, normalmente para designar regiões com composições calcárias e dolomíticas (figura 10), cuja topografia possui características de formação por dissolução de rochas calcárias ou dolomíticas (Christofoletti, 1983).

É necessário citar que, além do estudo por parte do referido ramo da ciência geomorfológica, trabalhando as formas erosionais produzidas em rochas carbonáticas, há uma outra ciência pouco conhecida no Brasil e que possui em sua essência, o estudo destas paisagens ou geocossistemas cársticos, a Carstologia (Travassos, 2019).

O semiárido nordestino apresenta grande diversidade ambiental face a sua complexa variedade de fatores naturais dispersos ao longo das terras semiáridas (Lima, 2015). Com relação a ocorrência de morfologias cársticas em climas áridos ou semiáridos, Maia et. al. (2012), mencionam que no Nordeste brasileiro, a mesma morfologia é condicionada pelo fator climático, portanto, a baixa pluviosidade e umidade durante a maior parte do ano, limitam a morfogênese química, limitando também, o desenvolvimento dessas paisagens características na região.

Barreto et al. (2007, p. 16), destaca que “nos terrenos calcários sob clima árido ou sob clima semi-árido as formas cársticas são respectivamente pouco desenvolvidas ou ausentes. Estas feições existentes nessas áreas, podem ser explicadas como relíquias formadas durante regimes climáticos mais úmidos”.

Figura 10 – Mapa de localização das regiões de concentração de terrenos carsticos no território brasileiro



Fonte: Travassos (2019).

Para estudar estas feições, é necessário compreender as principais bases teóricas, como o conceito da Cartosfera, instituído por Maruashvili (1970). “Essa é a camada da crosta espacialmente descontínua, que perfaz as rochas carstificáveis. Para Maximovich, (1979) apud Travassos, (2019, p. 38), a carstosfera é a parte da litosfera onde ocorre o carste. Para o mesmo, o conceito também pode ser expandido para as rochas metamórficas e magmáticas.”

Ainda sobre a descrição do conceito, Maruashvili e Tintillozov (1981;1982, apud Travassos, 2019, p. 39) dizem que “a carstosfera é a camada de rochas sedimentares solúveis que experienciam intensa ação química da água”. Foi a partir destas concepções que se tornou possível expandir a

zona de influência da Carstosfera, podendo estar presente de forma descontínua a até 15 quilômetros de profundidade na crosta terrestre, uma vez que os processos cársticos ativos no passado podem ser ativos no futuro.

A referida litologia pode ser encontrada com certa facilidade em grande parte do planeta, mais abundantemente nas regiões entre os trópicos. As regiões cársticas compreendem cerca de 10% a 15% da superfície terrestre do planeta terra (Ford, Willians, 2007). Para Kohler (2015), os relevos com essa origem estão distribuídos em cerca de 10% do globo terrestre, principalmente sobre rochas carbonáticas, sendo reconhecidos por sua exuberância e particular beleza.

Com relação a área territorial brasileira, de cerca de 8,5 milhões de km², Karmann (1994) estimou que de 5 a 7% seriam constituídos por terrenos calcários. Enquanto Auler (2002) propôs que cerca 2,2 % do território brasileiro apresenta carbonatos aflorantes. Mais recentemente, Karmann e Sallun Filho (2007) discutiram estes dados, indicando que esse total é de 2,8%.

1.4 Processo e evolução química do carste

A morfologia cárstica é condicionada por diversos fatores, tanto endógenos, quanto exógenos. De acordo com Piló (2000), o conjunto espacial que constitui a Geomorfologia cárstica pode ser compartimentado em três domínios, envolvendo a superfície (exocarste), a subsuperfície (epicarste), e o meio subterrâneo (endocarste). Esses domínios apresentam-se na qualidade de lugares onde se encontram estruturas e mecanismos responsáveis pela operação de processos geomorfológicos atuais, assim como os que guardam importantes registros de processos do passado. Dois parâmetros se inter-relacionam nesse conjunto espacial: morfologias e materiais constituintes (rocha, alterita, solos e depósitos) (Piló, 2000, p. 88).

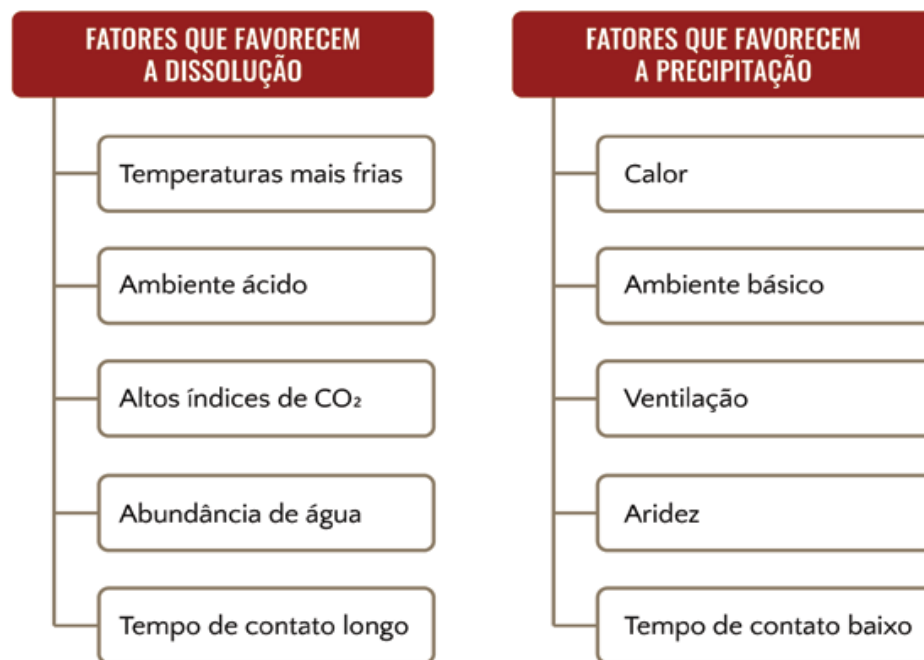
Abordando o mesmo tema em um de seus trabalhos, Maia et.al (2019), destaca que o processo de carstificação ou dissolução química se inicia pela combinação da água da chuva ou de rios superficiais com o dióxido de carbono (CO₂) proveniente da atmosfera ou do solo (proveniente das raízes da vegetação e da matéria orgânica em decomposição). O resultado é uma solução de ácido carbônico (H₂CO₃), ou água ácida.

Maia et al. (2019) destaca que este tipo de paisagem ocorre principalmente em regiões com pluviosidade elevada, o que garante um fluxo de água suficiente para dissolver grandes porções de rocha. Também é importante a presença de vegetação, para garantir que a água penetre no solo e

não seja perdida para a atmosfera. Regiões cársticas possuem poucas águas superficiais, uma vez que a água da chuva é rapidamente absorvida pelo solo e se acumula na zona freática.

Os principais elementos para a gênese e evolução destas feições (figura 11) são: a rocha com característica de solubilidade e a água. Enquanto os demais componentes deste processo, como a temperatura, ppH, pressão, CO₂, presença de ácidos húmicos e fúlvicos e as bactérias de fixação da calcita secundária, são ingredientes da carstificação. (Kohler, 1994). Abaixo, (figura 10), Gilli (2015, p 23), apresenta um quadro no qual a partir das interações identificadas, demonstra alguns fatores que favorecem e inibem o processo de dissolução no carste.

Figura 11 - Fatores que favorecem a dissolução e a precipitação para a gênese da morfologia cárstica



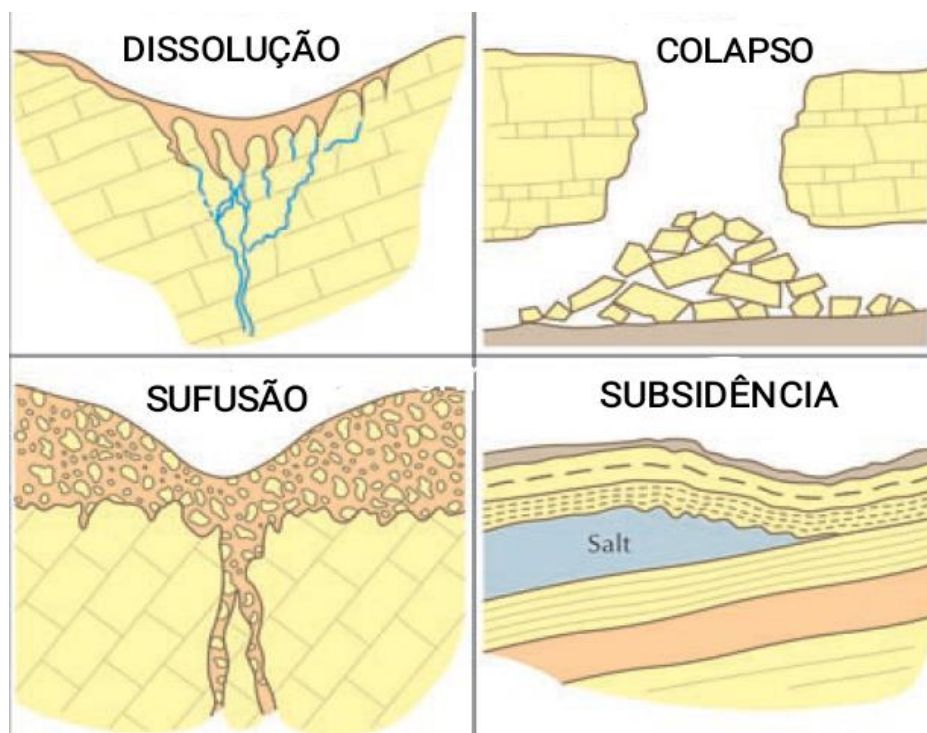
Fonte: Adaptado de Gilli, (2015).

Ainda sobre o processo de formação dessas feições, Maia et al. (2019) destaca que ao passar pelas fissuras, a água corrói o carbonato de cálcio (CaCO₃) ou outros sais constituintes da rocha, como sulfato de cálcio ou carbonato de magnésio. No caso da calcita, composta basicamente de carbonato de cálcio, o resultante dessa reação é uma solução de bicarbonato de cálcio (CaCO₃ + H₂CO₃ → Ca(HCO₃)₂). Entende-se por rocha solúvel “aquela que, após sofrer intemperismo químico, produz pouco resíduo insolúvel” (Karmann, 2000).

Nas regiões áridas, a precipitação ou ação capilar pode mobilizar os carbonatos e favorecer sua deposição dentro de certos horizontes do solo ou na parte superior do nível de base hídrico, criando crostas de espessuras variáveis que, então, podem ser secundariamente afetadas pela carsificação. No Brasil, tais exemplos são mais comuns no Nordeste do país e recebem o nome de caliche (Travassos, 2019).

A maior parte dos depósitos calcários se formou em ambientes marinhos. Ocasionalmente, entretanto, a deposição pode ocorrer em regiões com presença de grandes lagos ou precipitações abundantes. Abaixo (figura 12), é apresentado alguns fenômenos provenientes da dissolução química do carste.

Figura 12 – Representação dos principais fenômenos ocasionados pela ação química no ambiente cárstico.



Fonte: Adaptado de Huggett (2016).

Na década de 1920, J. Cvijić (1926) propôs a existência de três tipos básicos de Carste, os dividindo em holocarste (desenvolvido em rochas de carbonato puro), merocarste (incompleto, por apresentar características de regiões não-cársticas) e um tipo de transição (apresenta calcários isolados por sedimentos impermeáveis e menos solúveis).

Outro conceito de grande relevância foi formulado por Herak (1976), quando propôs a existência de dois tipos de carste, o epirogênico e orogênico, identificados por meio da abordagem tectono-genética. Sobre o primeiro, Travassos (2019, p. 40) afirma que o primeiro tipo se desenvolve nos carbonatos ou em outras rochas sedimentares solúveis criadas a partir da deposição de sedimentos em mares epicontinentais ou em regiões pantanosas. Apresentam-se, portanto, com camadas de sedimentos horizontalizados ou subhorizontalizados.

O segundo tipo identificado a partir da abordagem usada por Herak (1976), trata-se do carste que se desenvolveu em carbonatos ou rochas sedimentares que sofreram fortes movimentos tectônicos e apresentam falhas de empurrão. Travassos (2019, p. 40) complementa afirmando que no caso brasileiro, encontramos o carste epirogenético, já que são identificados como horizontalizados e subhorizontalizados.

1.5 Hidrologia cárstica

Entender o ambiente cárstico sem analisar a dinâmica hidrológica é uma tarefa difícil, para não dizer, impossível. Podemos dizer que todas as paisagens cársticas que enxergamos atualmente dependeram da água para se formar (Travassos, 2019).

É relativamente fácil perceber em campo, que as formas na superfície e no subterrâneo são o resultado do complexo movimento da água em uma região cárstica. Nesse tipo de paisagem, normalmente, observa-se uma relação direta entre a água subterrânea e a superficial por meio das depressões fechadas e fraturas (Travassos, 2019).

Dessa forma, destaca-se os tipos de fluxos hídricos, responsáveis pela dinâmica de evolução do relevo cárstico. O fluxo superficial é aquele que inclui três componentes principais de recarga. O primeiro componente são os cursos d'água que se originam em litologias não carbonáticas vizinhas. Quando ocorre o contato com o carbonato, podem ser capturados como pontos de recarga do aquífero. No segundo caso, é a precipitação difusa ao longo de toda região do carste que permite a formação do escoamento superficial, especialmente pelo excesso de água que não consegue percolar completamente pelo solo. Enquanto no terceiro caso, o componente é identificado na literatura como a evapotranspiração que se trata de uma variável que configura o processo pelo qual a água, próxima à área de superfície, se torna vapor d'água e retorna ao sistema em forma de precipitação (Travassos, 2019).

Dentro desse contexto hidrológico, Travassos (2019), destaca que por muito tempo se falou somente na existência de um compartimento externo (o exocarste) e de um outro compartimento interno (o endocarste). Entretanto, o desenvolvimento da Carstologia demonstrou a presença de um terceiro compartimento intermediário, sendo muito importante no sistema, chamado de epicarste ou zona subcutânea, na qual observamos que o poder de dissolução da água da chuva é aumentado significativamente nas primeiras dezenas de metros depois da superfície cárstica, aumentando sua agressividade na construção das complexas redes subterrâneas que formam o endocarste.

Ademais, destaca-se o fluxo subterrâneo, de vital importância para a formação do endocarste. Este, engloba a zona vadosa (não saturada) e a zona freática (saturada). Nesse subsistema o solo é a porção superior da zona não saturada, em que a água precipitada pode, dependendo da profundidade e das propriedades hidrológicas, ser armazenada temporariamente ou percolar em direção ao epicarste. Esta variável desempenha importante papel como regulador temporal da distribuição da recarga no sistema. Em períodos chuvosos, a água pode ser rapidamente transferida para a rede de condutos subjacentes, ao mesmo tempo que a outra parte pode ser armazenada na base do bloco e, posteriormente, recarregar lentamente o aquífero por meio de zonas menos permeáveis (Travassos, 2019).

Além dos conceitos chave da pesquisa em geomorfologia cárstica, já citados, Ford e Williams (2007,) destacam que o paleocarste é um dos conceitos mais importantes para o entendimento da gênese e evolução destas morfologias. Nesse sentido, a Hidrologia neste ambiente é um dos pontos centrais, pois atua conjuntamente aos fatores climáticos para modelagem do relevo.

Travassos (2019, p. 39) cita que o conceito de paleocarste faz referência às regiões que hoje estão enterradas por sedimentos e podem se transformar, em um momento posterior, em rocha consolidada. São consideradas regiões inertes e hidrológicamente separadas do sistema contemporâneo e são frequentemente encontradas sob cobertura de rochas clásticas.

Para Osborne (2013) este conceito deve ser percebido como uma evidência dos processos cársticos do passado, que atualmente faz parte dos registros geológicos. Explicando de outra forma: se uma feição é preenchida ou soterrada, de tal forma que o preenchimento e a rocha se comportam como uma única unidade, temos, então, um paleocarste que não é necessariamente antigo.

1.6 Influência do clima

A influência do clima no modelado do relevo é reconhecida a muitos séculos. No carste, tal discussão é essencial para o entendimento do contexto de formação e evolução das morfologias, sejam exógenas ou endógenas. Ford & Williams (1989) relatam a importância da temperatura para a capacidade da solução química de dissolver o carbonato de cálcio (Ford; Williams, 1989 apud Hardt, 2004).

Os mesmos autores concordam que a principal influência do clima no processo de carstificação é a presença ou ausência de água líquida no sistema. Havendo disponibilidade de água líquida, a morfologia tem condições de se desenvolver.

As consequências morfológicas desses fatores, variam de acordo com a litologia. Em rochas mais solúveis, como gesso ou halita, a influência de condições subúmidas é menos crítica que nos carbonatos. De fato, ressaltam os autores, as melhores expressões das feições cársticas em evaporitos são encontradas em ambientes relativamente secos (Ford; Williams, 1989, apud Hardt, 2004).

Passando para o frio extremo, têm-se grandes áreas cobertas de gelo, onde, a ausência de água líquida praticamente impede o desenvolvimento dessas feições, prevalecendo formas de relevo associadas ao gelo. No entanto, estas feições podem se desenvolver de forma considerável, em áreas periglaciais, em que parte do ano, existe água líquida. Nesse caso, a baixa temperatura da água é até uma vantagem, pois em baixas temperaturas, a água é mais eficiente na dissolução do calcário. (Hardt, 2004).

1.6 Os ambientes cársticos

1.7.1 Exocarste

A geomorfologia cárstica é frequentemente dividida em dois tipos, o chamado exocarste, que trata das feições desenvolvidas em superfície, e o endocarste (conjunto das feições do subterrâneo) (TRAVASSOS, 2019). O carste e as cavernas se desenvolvem em muitos tipos de rocha, incluindo calcário, dolostone, gipsita, sal, quartzito e algumas outras (Dewaele, Plan, Audra, 2009). Essas paisagens são dominadas por formas de relevo de superfície dissolvidas produzidas pela dissolução de rochas solúveis por águas superficiais.

O grau de dissolução depende de vários fatores, incluindo disponibilidade de água e seu modo de recarga (difusa, autogênica e alogênica), litologia e estrutura das rochas envolvidas e clima (temperatura, precipitação e vegetação) (Dewaele, Plan, Audra, 2009). As formas típicas do exocarste são representadas por dolinas, uvalas e poljes (formas negativas, formando depressões); maciços, torres e mogotes (formas positivas); e lapiás (microcarste, mesocarste).

O conjunto de formas superficiais negativas topograficamente representa um indicativo de um terreno cárstico bem desenvolvido (Frumkin, 2013). As feições superficiais são predominantemente formadas pelos processos de dissolução da rocha pela água naturalmente acidulada e, em menor escala, com o auxílio dos processos físicos (Travassos, 2019).

Entre as formas de recarga desse sistema, aquelas que sofrem efeitos diretos da ação fluvial, destacam-se os vários tipos de vales, entre estes cita-se os vales cegos, considerados como uma feição fluvio cárstica que se fecha abruptamente, próximo a jusante. Os vales fechados, alimentados por uma nascente ou ressurgência e os vales secos, que possuem esse nome pelo fato de não possuírem rios para sua drenagem, tendo perdido essa água para o meio subterrâneo. Além, pode-se destacar os sumidouros, tratando-se de uma fissura ou rachadura tanto em maciços rochosos quanto nos contatos litológicos de uma região cárstica (Travassos, 2019).

Podemos destacar feições de menor escala, como *Kamenizta* (solution pans ou marmitas de dissolução). Neste meio, são as formas superficiais circulares ou elípticas, quase planas e lisas, que podem se localizar ou não ao longo de uma faixa à jusante dos *rillenkarren* (Travassos, 2019).

Entre os principais tipos de formas exocársticas, destacam-se os *Karrens*. Trata-se de formas que aparecem na superfície do calcário e consistem em ranhuras estreitas com cumes residuais afiados entre eles. As ranhuras são de vários decímetros de profundidade e, às vezes, até de 5 a 10 metros, enquanto as cristas residuais são mais finas e completamente afiadas em direção ao topo, ou sua superfície superior é quase plana e, em alguns locais, se encontram sulcadas por ranhuras secundárias que, da mesma forma que a superfície principal, apresenta inclinação em direção ao ponto mais baixo do terreno. As áreas maiores completamente cobertas por *karren* são chamadas de campos de *karren* ou campos de lapiás (*Karrenfelder*) (Cvijić, 2017, p. 26).

O termo alemão “*Karren*” e o termo francês “lapiés” são amplamente utilizados para descrever formas de poços, sulcos e canais de dissolução em pequena escala à superfície e no subsolo (Ford; Willians, 2007). Estas, são também as formas de relevo de dissolução encontradas com mais frequência em outras rochas como o arenito, o quartzito e o granito.

Uma morfologia típica de ambientes cársticos são as dolinas, depressões em forma de bacia, sem profundidade expressiva, escavadas na rocha calcária. Seu diâmetro varia entre 10 e 1.000 metros, enquanto a profundidade fica entre os 2 e 100 metros. Algumas crescem em termos de largura para se tornarem cavernas, canais de cavernas extremamente ramificados e canais de rios subterrâneos (Cvijić, 2017). São formas geométricas circulares ou ovais, que geralmente possuem largura maior que a profundidade (Travassos, 2019).

DeWaele, Plan e Audra (2009) destacam a ocorrência destas formas se dá devido ao colapso da rocha, bem como ao colapso de material consolidado ou inconsolidado, que pode estar encobrindo o carste. A maioria delas, são formas que caracterizam a superfície do solo e se estendem para baixo apenas por fissuras. Portanto, incluímos sob o termo dolina (*sinkhole*) todas as pequenas depressões em forma de funil que dão a característica especial destas áreas. Além das dolinas, o carste também apresenta formas maiores conhecidas como poljes.

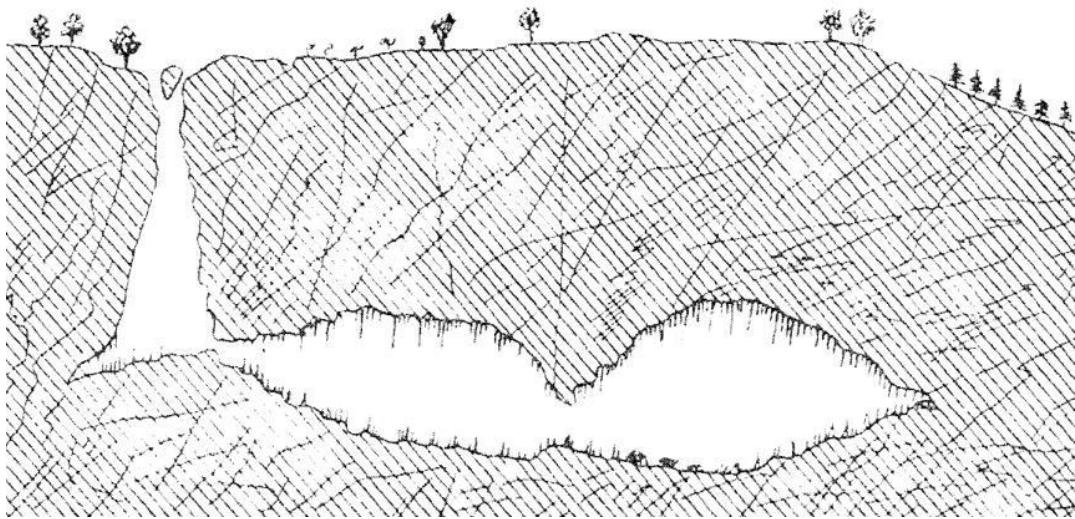
Entre as várias formas de dolinas conhecidas, pode-se destacar as duas principais classes, as regulares e irregulares, ou típicas e atípicas. Sobre a primeira classificação, Cvijić (2017, p. 37), dispõe que, “essas dolinas típicas ocorrem individualmente ou agrupadas em números tão altos que há, por vezes, 40 a 50 por quilômetro quadrado”.

Entre os tipos de dolinas típicas, destacam-se as dolinas em forma de bacia, que apresentam profundidade pequena em comparação ao seu diâmetro; Dolinas em forma de funil. Este grupo inclui todas as dolinas que têm um diâmetro de aproximadamente duas a três vezes maior do que a sua profundidade e as Dolinas do terceiro tipo são as dolinas em forma de poço. São buracos com lados íngremes, às vezes completamente verticais, formados imediata e diretamente próximo da superfície ou a partir do fundo da dolina. Neste último caso, representam formas de transição das dolinas em forma de funil para aquelas que têm forma de poço. O diâmetro dessas dolinas é geralmente menor do que a sua profundidade (Cvijić, 2017).

No caso das dolinas Irregulares ou atípicas, existem dolinas em forma de bacia e funil que são atípicas em relação às suas dimensões horizontais. Discrepâncias numerosas são facilmente percebidas nas mesmas. Ocorrem apenas poucas dolinas em forma de bacia com diâmetro muito pequeno. Existem dolinas em forma de funil com grande diâmetro, arredondadas ou ovais. As mais profundas ficam cheias de água quando a neve derrete ou quando chove, criando lagos intermitentes (Cvijić, 2017).

Existem dois tipos de abismos, sendo o primeiro tipo o *Potholes*, dolinas íngremes e profundas que terminam em cavernas cegas, na maioria, pequenas cavernas (Cvijić, 2017). Abaixo (figura 14) é apresentado uma representação de uma destas formas de abismo. A seguir, uma representação de um *Pothole*.

Figura 13 – Representação de um *Pothole* em corte vertical, caverna de Prevala, Sérvia

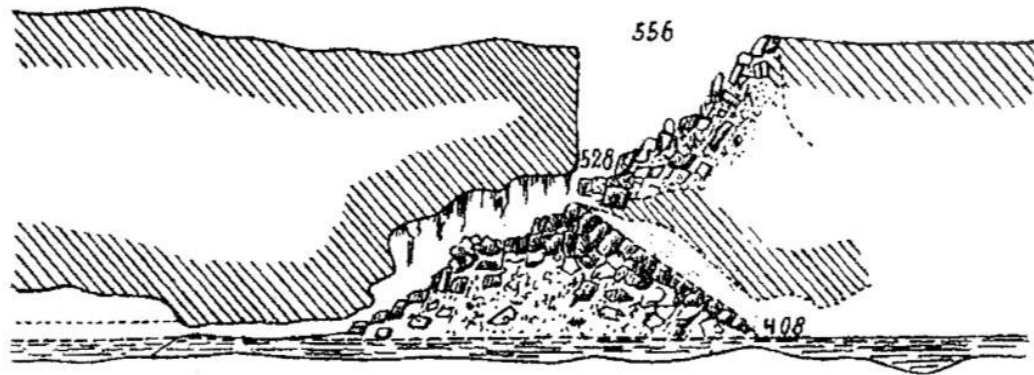


Fonte: Adaptado de Cvijić (2017).

No segundo caso, temos os abismos frequentemente conectados a rios subterrâneos por meio de cavernas. Estas dolinas estão localizadas próximo a rios subterrâneos. Nas áreas cársticas desprovidas de rios subterrâneos, abismos desse tipo não são encontrados. Seu número diminui de acordo com o número natural de dolinas verdadeiras.

As dolinas simples, (figura 15) em forma de poço e em forma de funil, diretamente ligadas a uma caverna horizontal e a um rio subterrâneo, permitindo que a luz do sol as alcance, podem ser chamadas de diversas nomenclaturas, a depender da região do globo em que se encontrem, como Janelas de Cavernas, enquanto no Brasil, *light holes*, na Jamaica e na Eslovênia, Jama (Cvijić, 2017).

Figura 14 – Representação em corte vertical de um *light hole* ou Janela de caverna.



Fonte: Adaptado de Cvijić (2017, p. 37).

Todas as formas deste grupo aparecem na superfície como dolinas em forma de funil e dolinas em forma de poço, mas no fundo se estendem em pequenas cavernas cegas ou são conectadas a condutos de cavernas e rios subterrâneos.

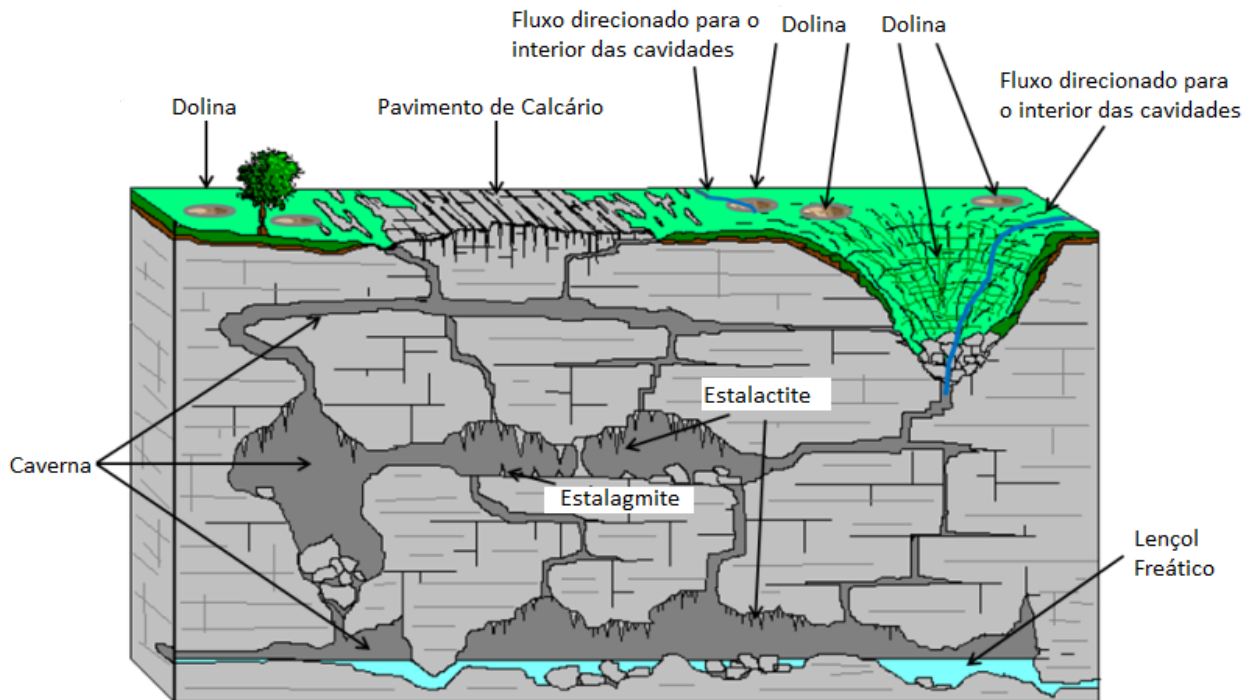
Entre as formas carste superficial, destaca-se ainda as Uvalas, uma depressão fechada, normalmente menor que um *polje* e maior que uma dolina. Geralmente são formas alongadas e irregulares, que podem atingir extensões de escala quilométrica localizadas acima do nível de base do carste regional. Sua base (ou fundo) é normalmente ondulado ou irregular por apresentar dolinas e sumidouros (Travassos, 2019).

Destaca-se também, os *poljes*, que se tratam de grandes depressões fechadas existentes no carste e geralmente são planícies de mais de um quilômetro de extensão. Ressaltamos que não são feições cársticas puras, pois são do tipo poligenéticas (Travassos, 2019).

1.7.2 Endocarste

O endocarste (figura 13) é caracterizado por formas desenvolvidas em ambiente subterrâneo, sobretudo as cavernas, dutos e microdutos, além dos depósitos químicos, clásticos e orgânicos. O domínio epicárstico compreende a parte superior da rocha subjacente, dominado por cobertura sedimentar e por rede de fissuras.

Figura 15 – Representação das formas e processos endocársticos



Fonte: Adaptado de Gilli (2015).

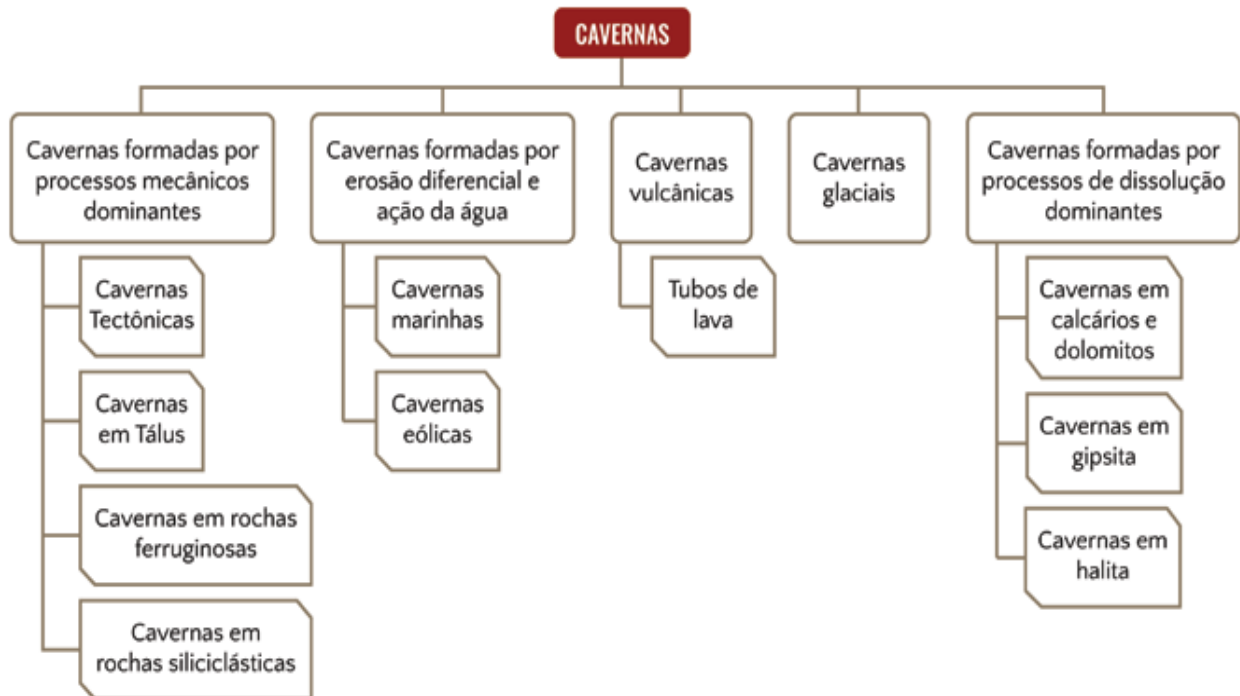
Embora seja amplamente aceito o conceito de caverna como uma abertura natural para o subterrâneo grande o suficiente para permitir a entrada do ser humano, Ford e Williams (2007) afirmam que, do ponto de vista da hidrogeologia e da hidrodinâmica, podemos considerar uma caverna qualquer abertura ou conduto de 5 a 15 mm de diâmetro ou largura, cujas dimensões já são suficientes para permitir a mudança de um fluxo laminar para o turbulento. Cavernas horizontais são encontradas em todos os tipos de carste. Podem ser divididas em alguns tipos principais, tais como, aquelas com condutos espaçosos e extremamente ramificados que são leitos de rios subterrâneos ativos ou abandonados.

A dissolução das rochas possui uma série de variáveis, tanto de ordem abiótica (clima, temperatura, umidade), quanto bióticas (vegetação, musgos, líquens). Toda a evolução dos sistemas cársticos, partindo de sua origem até seu desenvolvimento máximo, culminando na forma atual, é denominada de espeleogênese (Dewaele, Plan e Audra, 2009).

Embora o processo de dissolução seja muito mais forte na superfície, ela continua lentamente alargando fissuras e planos de acamamento no subterrâneo para a formação de uma intrincada rede de condutos cársticos. A maioria dessas meso e microformas é de origem poligênica, formada por fluidos (ar (ar e/ou água) que corroem e/ou erodem as superfícies das rochas. Diversas variáveis ativas e passivas controlam sua formação (figura 16) e, na maioria das vezes e, na maioria das vezes, várias gerações de formas podem se sobrepor ao longo do tempo (Dewaele, Plan E Audra, 2009).

Apesar de ser amplamente aceito o conceito de caverna como uma abertura natural para o subterrâneo, com dimensões suficientes para permitir a entrada do ser humano, Ford e Williams (2007) destacam que, pela ótica da hidrogeologia e da hidrodinâmica, pode-se considerar uma caverna qualquer abertura ou conduto que tenha dimensões variando de 5 a 15 mm de diâmetro ou largura, com essas dimensões já permitindo a mudança de um fluxo laminar para o turbulento.

Figura 16 – Principais tipos de cavernas, quanto a sua formação



Fonte: Adaptado de Travassos (2019).

A definição de uma caverna pode ser entendida como o resultado de uma série de fatores, de ordem climática, litológica, biológica entre outros. Como exemplo, podemos citar os locais para

exploração e pesquisa, fonte de informações geológicas, hidrológicas e biológicas etc. Podem ser formadas em vários tipos de rocha e por processos diversos. (Travassos, 2019).

Figura 17 - Representação das variações da morfologia dos condutos e cavernas em relação aos planos de acamamento e orientação das fraturas.

PLANOS DE ACAMAMENTO	AUMENTO DA IDADE →			
	FASE FREÁTICA	FASE VADOSA	FASE DE ABATIMENTO	
	passagem elíptica estágio inicial 			Colapso do teto e destruição da cavidade natural subterrânea
	meio tubo no teto estágio de agradação 			
	cânion estágio de incisão 			
	estágio inicial 			
	Estágio inicial 			

Fonte: adaptado de Travassos (2019).

Em resumo, é desta forma que o endocarste é formado e as cavernas são apenas uma pequena parcela penetrável pelo ser humano. Os demais elementos que compõem o subterrâneo em meio calcário são formados por uma complexa e vasta rede de condutos e passagens que só podem ser analisados e estudados de forma indireta (Gilli, 2015).

Para que ocorra a formação do endocarste (figura 17), considera-se três condições essenciais, tais como a presença de aberturas pré-existentes na rocha (poros ou discontinuidades), a presença de água agressiva, e a existência de forte gradiente hidráulico (Gilli, 2015).

Dessa forma, as cavernas e condutos subterrâneos são formados por vários elementos, tais como discontinuidades naturais, forças mecânicas e a estrutura da rocha. As cavernas possuem variados tipos de classificação, entre as quais destacamos a clássica, que leva em consideração os

tipos e elementos variados, podendo se diferenciar em tamanhos, formas, geologia e genética (TRAVASSOS, 2019).

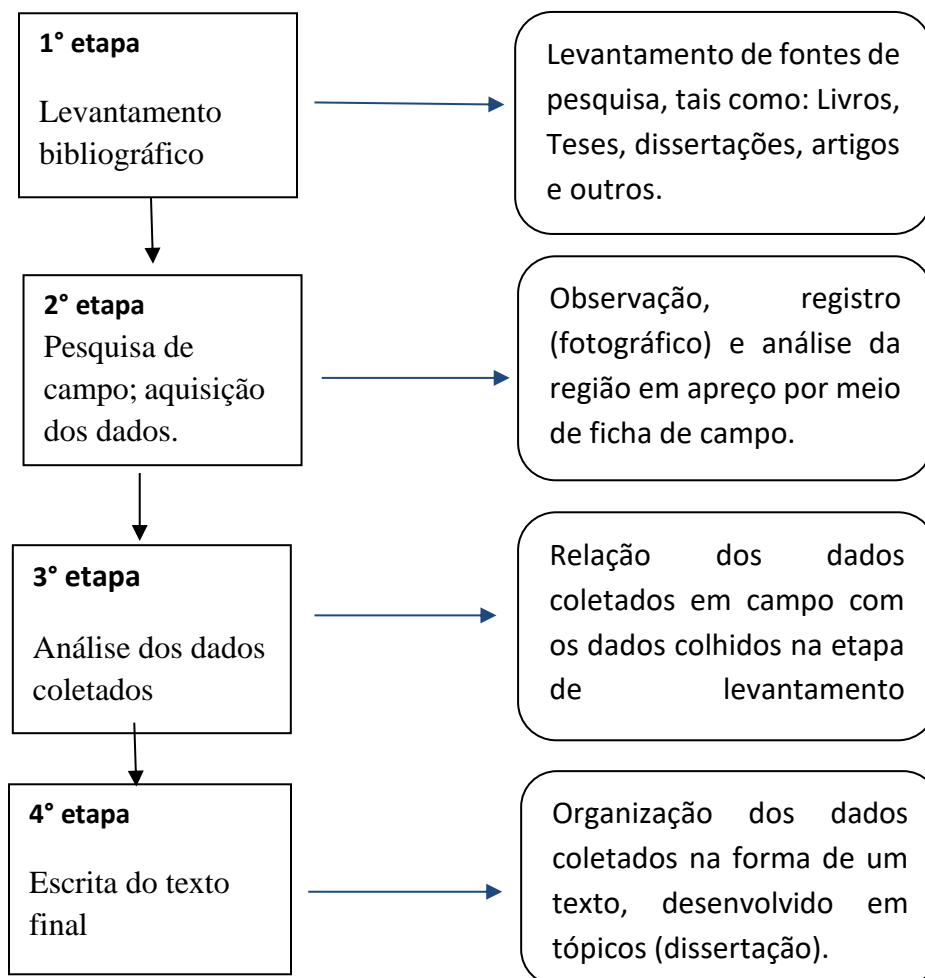
2 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS

A presente pesquisa foi dividida em quatro etapas, visando melhorar a eficiência do trabalho e o alcance dos objetivos projetados. Partindo das primeiras ações no levantamento de leituras base, passando pelos trabalhos em campo e aquisição dos dados, até a análise dos mesmos e sua posterior organização e produção escrita.

A escala espacial desta pesquisa se dá em âmbito local, uma vez que abrange uma pequena área (vale do São Romão) entre os municípios de Altaneira e Farias Brito, no estado do Ceará, perfazendo uma área total de 28,2 km². A escala temporal é de longo prazo, situando-se no pleistoceno tardio e Holoceno, ambos, pertencentes ao período Quaternário.

Objetivando organizar as etapas de pesquisa, segue-se um fluxograma esquemático do trabalho, apresentado na figura 16.

Figura 18 - Fluxograma esquemático da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

2.1 Levantamento bibliográfico

A primeira etapa do trabalho, consistiu em um levantamento bibliográfico de caráter interdisciplinar, em que se buscou por estudos sobre as morfologias cársticas de forma geral e também de fenômenos mais particulares, como o carste em áreas áridas e semiáridas, se traduzindo em levantamentos sobre o clima, a geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação do local, tipologias morfológicas, evolução carstológica e outros. Para tal, foram utilizados vários meios como, livros, artigos, teses e dissertações, sendo adquiridos por meios eletrônicos (portal de revistas, órgãos governamentais, entre outros) e também obras físicas (livros impressos).

Os conceitos, elementos, fenômenos e formas trabalhados na Geomorfologia cárstica, tais como, feições cársticas, (cavernas, espeleotemas) a espeleogênese, a carstificação, entre outros, foram adquiridos através das obras de Travassos (2019), Kohller (1989), Cvijić (1895, 2017) Karman (1994), Piló (2000), Maia (2012), entre outros, mostrando-se valiosos e de grande contribuição para a pesquisa.

Destaca-se ainda, os trabalhos ligados a Geomorfologia cárstica, Geomorfologia estrutural, Geologia e climatologia, produzidos por Cordeiro (2017), Peulvast, Bétard, (2015); Auler et al. (2005); Bigarella (1994), que possibilitaram o embasamento das análises realizadas na área de estudo.

2.2 Dados utilizados

Para o mapeamento das áreas objetivadas neste estudo e levantamento de dados geológicos e climáticos, foram utilizadas as bases de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), entre outros. Os dados de cunho geológicos também foram obtidos a partir das cartas geológicas SB.24-Y-B, na escala de 1:250.000 do mapa geológico do estado do Ceará. A partir dessas bases geológicas, foram realizadas correlações entre os limites das unidades litológicas e suas relações com as principais formas de relevo da região.

A avaliação das condições paleoclimáticas, referente a gênese e evolução das feições cársticas do vale do São Romão, foi realizada tomando por base os dados disponibilizados nos trabalhos

de Tardy, Melfi e Valetton (1988); Tardy et al. (1990); Cordeiro (2018); Barreto et al. (2007); Vasconcelos et al. (1994). Na discussão sobre as condições evolutivas atuais, os trabalhos de Cordeiro (2017); Cordeiro et al. (2018); Maia; Bezerra (2014); Auler et al. (2000); Travassos (2015, 2019).

Estes dados foram trabalhados em escalas distintas, passando pela extração de informações à cerca do contexto dos fenômenos regionais, e propriedades da área em si, como lineamentos e a rede de drenagem do local, nas escalas de 1:100.000; até contextos amplos, como os fenômenos exógenos e endógenos ocorridos no período Quaternário na região Nordeste, sendo passíveis de análise na escala de 1:500.000.

2.3 Trabalhos de campo

Durante os trabalhos de campo foram utilizados registros fotográficos, mapas temáticos pré-selecionados de outras bibliografias e órgãos públicos, além de imagens de satélite. A câmera fotográfica digital, ficha de campo, mapa de pré-campo (hipsométrico, geológico e pedológico), em tamanho A3, dentro da escala de 1:200.000, uma trena com comprimento 7,5 metros e um veículo automotor (moto), foram cruciais para o andamento da pesquisa de campo.

O reconhecimento de campo teve o objetivo de identificar e analisar feições geomorfológicas, além de refinar os limites entre os compartimentos morfoestruturais e morfopedológicos. A ficha de campo, adaptada do trabalho de Medeiros (2019), foi essencial para análise e coleta de dados da região e morfologias cársticas. Esta, foi utilizada para coleta de dados de base, relativos as questões climáticas (pluviometria média, umidade, temperatura), geológicas (litologia, lineamentos), Geomorfológicas (tipos de morfologias), vegetacionais, entre outras.

A ficha de campo (presente no apêndice deste trabalho) deu subsídio para caracterização das feições de metacalcários presentes no vale do São Romão, dando suporte ao detalhamento de formas, dimensões destas, tipos de formas, localização, distribuição e estado evolutivo atual.

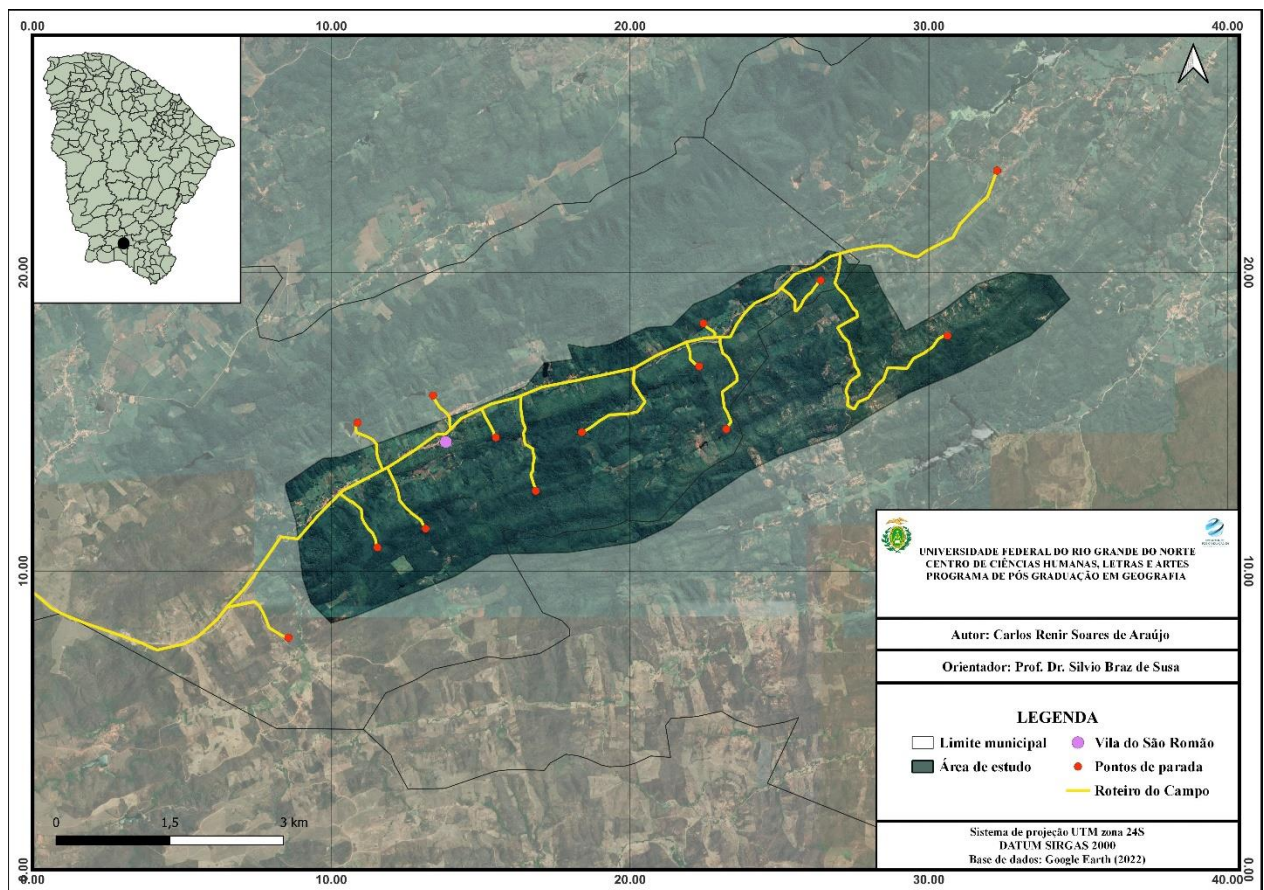
Nos sub itens da ficha, caracterizados na forma de tópicos, divididos em unidades, são descritas a seguir: Unidade 1) Identificação da área de estudo; 2) Situação; 3) Unidade geoambiental, 4) Geologia; 5) Climatologia; 6) Geomorfologia; 7) Hidrologia; 8) Processos morfodinâmicos; 9) Formações superficiais e processos pedogenéticos; 10) Cobertura vegetal; 11) Dinâmica da paisagem; 12) Problemas ambientais.

Os dados relativos à unidade 1 e 2 foram colhidos a partir da base de dados do IPECE (2020), utilizados para a contextualização da área, nas unidades 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 foram obtidos dados por meio do banco de dados do IBGE, CPRM, além de literaturas afins, como trabalhos já citados, de Cordeiro (2017, 2018), Bigarella (1994), Auler et al., (2000), Travassos (2015, 2019), entre outros.

Estes dados foram colhidos em campo e organizados por meio de mapeamentos, tabelas e outras figuras, subsidiando a construção dos tópicos deste trabalho, desde a contextualização da área de estudo, até a discussão dos resultados obtidos.

Durante a etapa da pesquisa em campo, foi realizada a análise e visita de diversos pontos na região, estando os mesmos destacados no mapa a seguir (figura 19), juntamente com as rotas seguidas.

Figura 19 – Roteiro da pesquisa em campo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os pontos de registros e observações foram demarcados de acordo com a litologia identificada. Dessa forma, foi percorrida quase a totalidade da região, por meio de incursões em

estradas vicinais, veredas abertas por agricultores locais e até por animais, como os rebanhos de gado do local.

2.4 Produtos e processos

Como maneira de sintetizar os mapeamentos feitos durante a pesquisa, foi construída uma tabela demonstrativa, tratando dos tipos de mapas produzidos e a característica dos mesmos. Abaixo, encontra-se uma síntese dos mapas produzidos.

Tabela 1 – Descrição dos mapas produzidos durante a pesquisa

Nº	MAPA	ESCALA	FOLHA
1	Básico/Hipsométrico (Localização do vale do São Romão)	1:50.000	A3
2	Geológico	1:30.000	A3
3	Geomorfológico	1:30.000	A3
4	Hidrografia	1:30.000	A3
5	Pedológico	1:30.000	A3
6	Roteiro de campo	1:40.000	A3
7	Distribuição das feições Cársticas	1:40.000	A3
8	Identificação das principais feições cársticas do vale do São Romão	1:30.000	A3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Análise dos dados da região, foi realizada com o apoio da bibliografia levantada e com a comparação dos dados adquiridos nas plataformas anteriormente citadas (IBGE, CPRM e outros), sendo assim, possível compreender a gênese e evolução daquele contexto geomorfológico, além de suas características atuais. O software Google Earth forneceu subsídios para a medição das formas do relevo do vale do São Romão, tanto para identificação das cristas residuais com presença de feições cársticas (endógenas e exógenas) quanto para realização da análise morfométrica, através da função “régua” do Software.

Para a confecção de mapas, foi utilizado como ferramenta de Geoprocessamento o software Qgis, na versão 3.22.9 (QGIS Team, 2023), ferramenta geográfica que possibilitou a organização dos dados colhidos na etapa de gabinete e de campo. Este suporte se deu através da edição de

shapefiles presentes na base de dados da CPRM, IBGE, IPECE e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Na integração dos dados utilizando-se o software GIS 3.22.9 (versão mais recente do software), houve o tratamento dos arquivos vetoriais e matriciais. Os arquivos foram convertidos para a projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando-se o Datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000 (SIRGAS-2000).

3 CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA CÁRSTICA PRESENTE NO VALE DO SÃO ROMÃO

No decorrer das pesquisas em campo, foi verificado a grande presença de cristas residuais, no entorno e interior da área de estudo. Estas, fazem parte do relevo relativamente dissecado que se encontra na região, área de pluviometria mais intensa que as regiões circunvizinhas. As zonas de deposição sedimentar (planície que corta a faixa calcária) encontram-se em constante relação com o ambiente das cristas residuais.

O vale do São Romão, possui uma planície com abertura média de 220 metros, caracterizada como a área de deposição sedimentar proveniente dos processos de intemperismo e erosão que ocorreram e ocorrem nas partes a montante do curso de drenagem da área e das cristas residuais, que compõem a paisagem do local, além da serra do Quincuncá, localizada a oeste do vale.

Com uma medida máxima de 352 metros na área mais ampla da planície que forma o vale, e com 71 metros no local de menor largura (a jusante do curso d'água), o vale orienta-se no sentido SO-NO, com diminuição gradual na sua abertura em direção aos pediplanos dissecados posicionados ao norte. A altimetria do fundo do vale é da ordem de 320m, podendo atingir os 346m em alguns pontos ao longo do vale, ocasionada principalmente pela dispersão do potencial energético do curso d'água da região e da diminuição quantitativa das cristas residuais, pois estruturalmente passam a aumentar em largura e diminuir seus ângulos de inclinação, tornando as vertentes menos íngremes.

Na zona fluviocárstica há a presença de um rio meandrante, denominado de Romão, que corta a faixa carbonática do vale. O vale fluvial assume um talvegue largo, contando com planície de sedimentação desenvolvida. As feições cársticas se encontram restritas as vertentes do vale.

As cristas residuais possuem dimensões variadas. Variando de cristas com tamanhos da ordem de 400 metros de comprimento, com uma largura de aproximadamente 300 metros, e topo chegando aos 408 metros, até as maiores cristas, ultrapassando os 2.100 metros de comprimento, cerca de 430 metros de largura, e com seu topo atingindo até 513 metros de altitude.

Majoritariamente, as feições analisadas e estudadas se caracterizam como exocarste, morfologias que decorrem de processos de dissolução pela água. Os lápias (*karren*) foram identificados em oito pontos distintos da região. No percurso por estrada carroçal, que liga a cidade de Altaneira a zona urbana de Farias Brito, passando pelo vale do São Romão, podem se verificar variadas formas cársticas, como os campos de lápias (*Karren*), formas mais comuns na região.

Cabe destacar a presença de sumidouros e ressurgências na planície de agradação do vale, sendo responsáveis pela drenagem e alimentação do rio que corta a zona calcária da área.

3.1 Compartimentação geomorfológica do contexto

Compreender a evolução das propriedades da água que percola por uma estrutura carbonática é indispensável para compreender os processos cársticos. Para tanto, faz-se necessário uma análise de cunho geral e específico, buscando abordar os diversos elementos e processos componentes da paisagem em determinado ambiente. Como destaca Gilli (2015) partindo de sua formação no meio atmosférico, até a sua saída do sistema por meio de uma nascente, uma única gota de água interage com diferentes ambientes. Temos, dessa forma, sua interação com a atmosfera, o solo, a biosfera, rocha e a água no aquífero e em outros reservatórios.

3.2 Levantamento do exocarste/endocarste

A forma superficial do carste pode ser extremamente distinta das demais, pois envolve grande número de variáveis que se ajustam para configurar os terrenos cársticos (Auler, et al. 2000). As feições superficiais são predominantemente formadas pelos processos de dissolução da rocha pela água naturalmente acidulada e, em menor escala, com o auxílio dos processos físicos. (Travassos, 2019). O processo de carstificação de uma rocha possui uma série de requisitos físicos e químicos, estando condicionada ou não, pela sua localização. Interpretando as informações, podemos chegar à conclusão de que existem zonas geográficas favoráveis e não favoráveis a esse processo. Nas zonas intertropicais chuvosas, a vegetação abundante favorece a produção de CO₂ e ácido húmico que, aliados a solos espessos, aumenta o tempo de contato dos elementos envolvidos (Travassos, 2019).

Para um bom desenvolvimento do relevo cárstico são necessários alguns elementos primordiais, que já são consenso entre os pesquisadores. Existe uma certa concordância que para o completo desenvolvimento da referida morfologia é necessário: 1 – Rochas com alto grau de porosidade secundária e solúveis, tais como calcário, dolomito e mármore; 2 – Expressivos gradientes hidráulicos; e 3 – Disponibilidade hídrica abundante (Bigarella, Becker, Santos, 2009; Karmann, 2000; Karmann, Sanchés, 1979; Piló, 2000; Ford; Williams, 2007).

Da mesma forma, embora com processos distintos, zonas montanhosas ou periglaciais são favoráveis para a carstificação, por causa das baixas temperaturas que permitem que a água acumule mais CO₂, portanto, se tornando mais agressiva. A água é abundante durante o degelo e as coberturas de neve favorecem um período de contato longo.

Em relação às áreas menos favoráveis a este processo, destaca-se aquelas que são áridas e as zonas árticas. Na primeira, a chuva é um processo mais escasso ou muito concentrado em apenas um rápido período de tempo. A vegetação também é mais escassa do que nas zonas tropicais, as altas temperaturas favorecem a evapotranspiração e o volume de CO₂ para efetiva carstificação, é quase inexistente. Nas zonas árticas, a temperatura impede a circulação da água, que está congelada em sua maior quantidade; a vegetação é ausente e o CO₂, é mais raro (Travassos, 2018).

O vale do São Romão é uma área com a presença de feições cársticas erosionais (exocarstes) elaboradas por processos de dissolução e corrosão, que incluem paredões enrugados, *karren*, *kamenitzas* e *boulders* corroídos pelo intemperismo químico (Cordeiro, 2019).

Os metacalcários da área em epígrafe, essencialmente se apresentam na forma de lapiás e suas variações, Blocos residuais exumados (*Boulders*), condutos calcários, e cavernas, com aberturas de pequenas dimensões, variando de 40 centímetros a pouco mais de 1 metro.

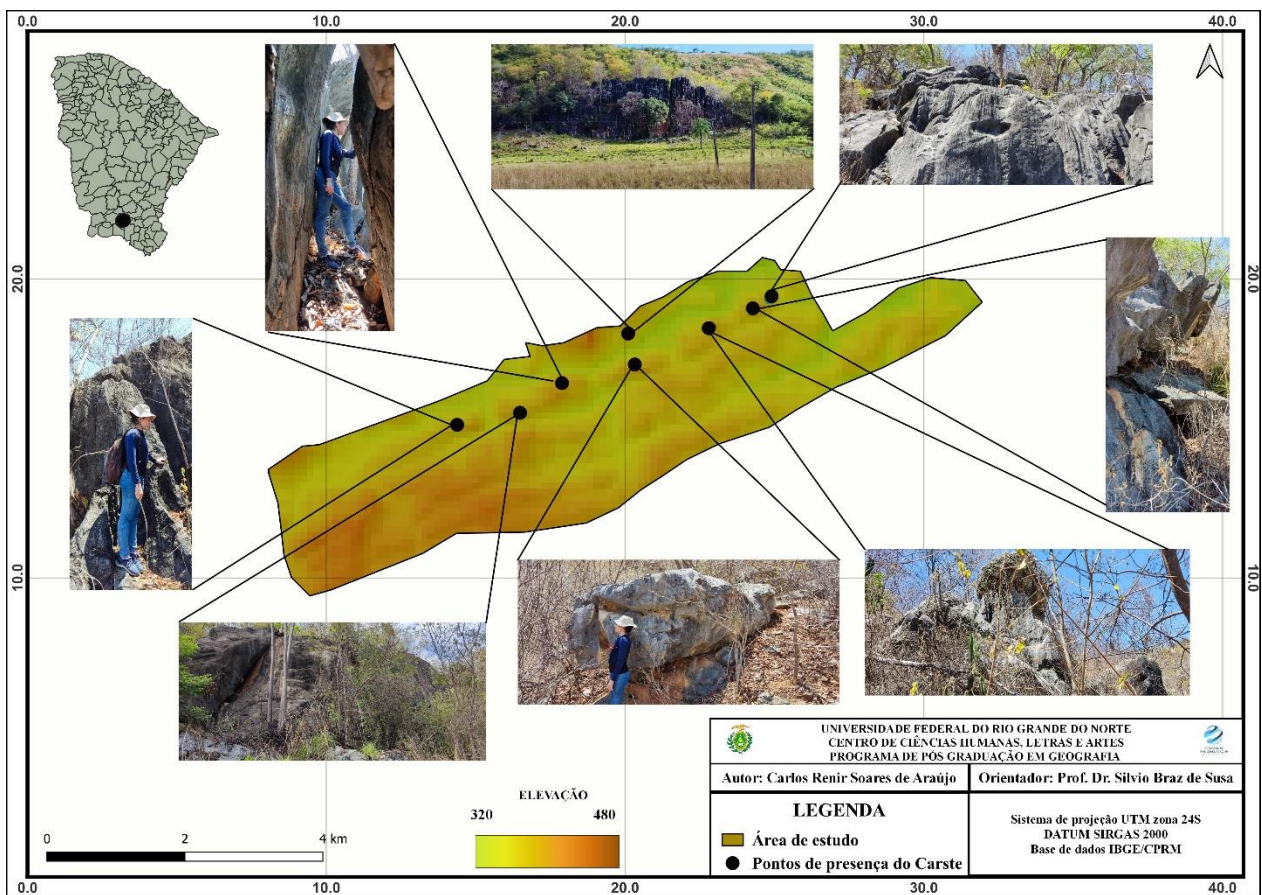
As cristas residuais e as zonas de deposição sedimentar que compõem a região estão integradas dentro da área de fortes lineamentos caracterizada pelo nítido controle estrutural sobre a morfologia atual, representada pelo alinhamento de uma série de cristas residuais, de resistência diferenciada a denudação, com orientação predominante NE-SO, que formam os padrões de drenagem da área. (Cordeiro, 2017). Como colocado por Hobbs (1912, p. 227) define-se lineamentos como “linhas significativas da paisagem que revelam a arquitetura oculta do embasamento rochoso”. Nessa definição foi incluído, como feições retilíneas as ravinas, vales e linhas visíveis de fraturas ou zonas de falhas

Nas vertentes que dividem o vale encaixado, local de exploração do estudo, há uma série de afloramentos rochosos típicos de regiões com presença do intemperismo químico, atuais ou/ antigas, se traduzindo em um misto de feições que tem em seu processo de denudação, associada a umidade e altas temperaturas. Esse caso pode ser verificado nas vertentes com presença de morfologias cársticas, tipicamente, lapiás.

Nesses ambientes, há uma grande presença de vegetação do tipo arbórea-arbustiva, que atua em conjunto com a umidade do local (especialmente no período da quadra chuvosa) para a atuação no processo de erosão química, que acarreta o desenvolvimento destas morfologias na região.

A distribuição destas feições (figura 20) ocorre de forma desigual na paisagem local, sendo exclusivamente presente nas vertentes das cristas calcárias que compõem a paisagem do vale do São Romão. Observa-se a associação destes pontos com os lineamentos estruturais, que controlam o direcionamento das cristas residuais do vale do São Romão.

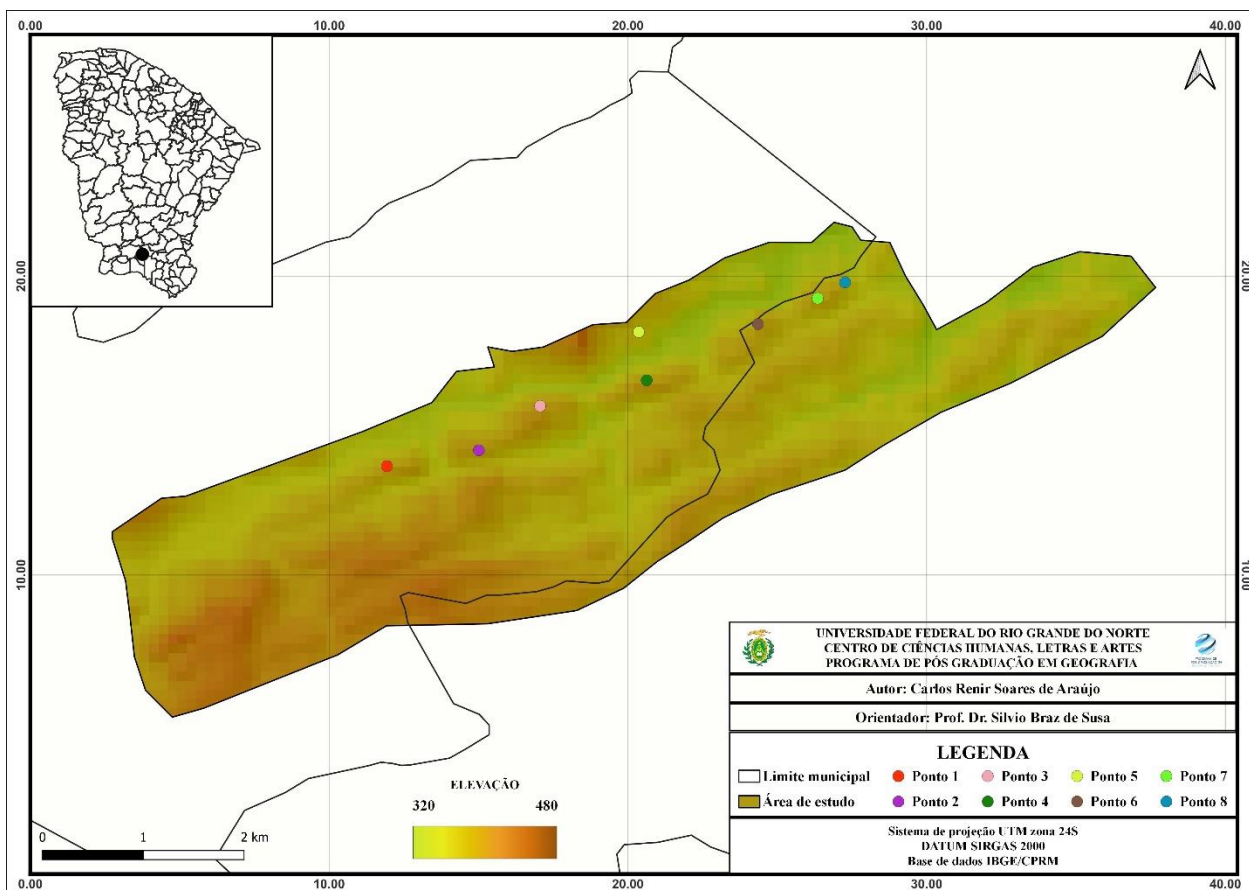
Figura 20 – Distribuição das morfologias cársticas estudadas em campo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O mapa de identificação das posições que apresentam as morfologias cársticas (figura 21) demonstra o posicionamento dos locais com presença destas feições, apresentando a identificação destes pontos em associação as coordenadas geográficas presentes na tabela (3), que atua como complemento do mapa da figura (21). Além das coordenadas, a tabela (2) dispõe de dados acerca das formas encontradas na respectiva coordenada.

Figura 21 – Identificação por coordenadas das morfologias cársticas presentes na região



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 2 - Identificação por coordenadas das zonas de presença do carste da região

ZONAS DE IDENTIFICAÇÃO	COORDENADAS	MORFOLOGIA	ALTI-METRIA
PONTO 1	6°59'3 75"S - 39°41'3 16"O	Lapiás em Caneluras/ Bacias de dissolução/ Blocos residuais exumados	429 m
PONTO 2	6°58'58 47"S - 39°40'14 4"O	Lapiás em Caneluras/ Blocos residuais exumados	449 m

PONTO 3	6°58'25 26"S - 39°38'46 82"O	Lapiás em Caneluras/ Lapiás em fendas/ Blocos exumados	445 m
PONTO 4	6°58'6 40"S - 39°38'24 30"O	Lapiás em Caneluras/ Paredões calcários/ Lapiás em planos de acamamento/ Condutos calcários	386 m
PONTO 5	6°58'17 31"S 39°38'21 77"O	Lapiás em Caneluras/ Blocos residuais exumados /Cavernas/ Condutos calcários, Lapiás em planos de acamamento/ Lapiás em fendas	437 m
PONTO 6	6°58'3 90"S - 39°37'57 11"O	Blocos residuais exumados/ Alvéolos/ Bacias de dissolução	432 m
PONTO 7	6°58'0 83"S - 39°37'49 12"O	Lapiás em Caneluras/ Blocos residuais exumados/ Bacias de dissolução	422 m
PONTO 8	6°57'54 39"S - 39°37'42 85"O	Lapiás em Caneluras/ Blocos residuais exumados/ Condutos calcários	429 m

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.1 Lapiás em caneluras (*hillenkarren*)

Entre as feições cársticas que destoam na paisagem do vale do São Romão, aquela que mais se destaca, tanto em quantidade, como em características visuais distintas, são os lapiás em forma de caneluras. Estas formas correspondem a caneluras, pontões, orifícios e alvéolos, que são gerados tanto na rocha desnuda, quanto sob o solo (Auler et al., 2000).

Consideradas formas de pequenas dimensões, iremos identificar agora os *karren*, conhecidos mais comumente no Brasil, como lapiás. São formas de dissolução encontradas na escala micro, meso e macro. Engloba as feições que melhor evidenciam a existência de processos de dissolução ativos na superfície e na subsuperfície (Travassos, et al. 2015).

Tais feições, embora sejam menores se comparadas a outras existentes na paisagem cárstica, podem chegar a tamanhos de dezenas a centenas de metros, dependendo das condições específicas de sua formação. Tais condições incluem elementos como, o clima, a litologia, o volume e

a agressividade da água. São, portanto, diferentes tipos de feições esculpidas na rocha pela dissolução da água. Para designar uma área onde ocorrem estas feições em grande quantidade, utiliza-se o nome de campo de lapiás (Travassos, 2019).

Os *rillenkarren* possuem seu desenvolvimento atrelado a superfícies rochosas com grande grau de inclinação. Por ter um fluxo canalizado, apresentam-se em padrão paralelo, retilíneo e com tamanhos ou espaços regulares. (Huggett, 2007).

As caneluras de dissolução ou lapiás em caneluras, geralmente de pequena escala, estreitas, retilíneas, organizadas de forma compacta e paralela, têm início no topo de uma vertente ou afloramento e se extinguem em direção à base, pois a água que escoia satura-se rapidamente. Desenvolvem-se basicamente em superfícies mais inclinadas ou quase verticais. (Travassos, 2019).

As referidas formas, identificados (figura 22), possuem grandes variações morfométricas, com feições que variam de pouco mais de 15 centímetros, até formas com tamanhos de 1,4 metros de altura. Quanto a largura média, os menores exemplares possuem cerca de 12 centímetros de largura, podendo atingir mais de 50 centímetros em feições maiores.

Figura 22 – Lapiás em caneluras (*Karren*) expostos à superfície.



Fonte: Do autor (2023).

Destaca-se na região, um grande conjunto de lapiás estruturados sobre um grande paredão de metacalcário que delimita a vertente de uma das cristas residuais, zona de deposição sedimentar

do vale. Nesse bloco (figura 23, 24), evidencia-se a presença de vegetação de porte arbóreo-arbustivo, que se encontram nas fraturas localizadas no paredão calcário.

Abaixo dos blocos de metacalcários expostos, temos a presença de um pequeno talude, formado por uma zona de deposição de material rochoso intemperizado, dando origem ao solo diretamente ligado a formação carbonática da área.

Figura 23 – Visão lateral da estrutura em lapiás. Nota-se a vegetação de grande porte que vive na superfície do paredão.



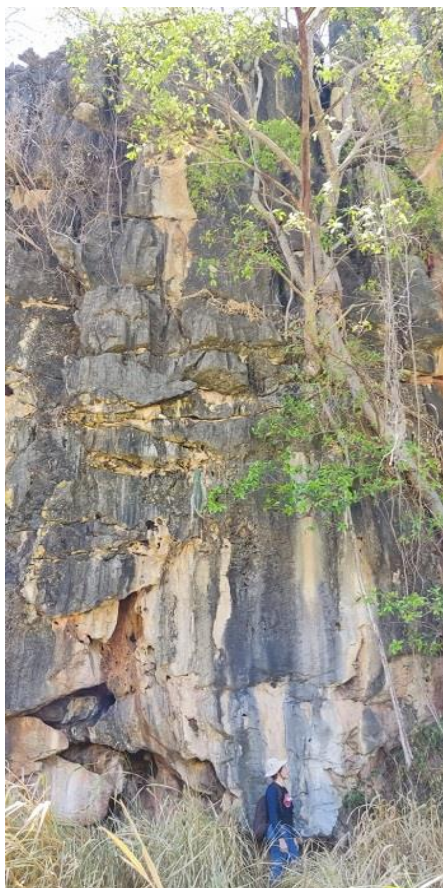
Fonte: Do autor (2023).

Devido ao fluxo canalizado, a rocha possui uma série de fraturas e condutos carbonáticos, evidenciando um escoamento subterrâneo de grande amplitude nos períodos chuvosos. Há ainda, a presença de espécies vegetais no paredão, especialmente na parte superior do mesmo, demonstrando a atuação mecanismos de intemperismo vegetal (corrosão), principalmente pela presença de musgos, que tornam-se ativos durante os meses de quadra chuvosa. O paredão conta com uma altura de cerca de 11 metros, possuindo uma extensão horizontal (largura) com cerca de 80 metros. Possui um ângulo de inclinação de 90° , se destacando na paisagem como um grande bloco residual de metacalcário coberto por lapiás do tipo canelura, visível a partir da estrada de acesso da região do vale.

Os paredões calcários também são tratados como torres, sendo uma forma cárstica isolada, com vertentes abruptas, o que lhe confere a forma de torre ou pilar rochoso. Dependendo do regime

climático e composição da rocha, podem apresentar lapíás ou *karren* em suas paredes (Travassos, 2019)

Figura 24 - Visão frontal de paredão de metacalcário no vale do São Romão.



Fonte: Do autor (2023).

Quanto as condições necessárias para a ocorrência dessas feições, é amplamente aceito que eles são formados pela erosão química das rochas sob a influência da água que corre sobre elas. Somente no caso dos *karren* em áreas costeiras, em contato mais direto com o oceano, pode-se questionar se sua origem seria por causa da precipitação ou das ondas que batem incessantemente sobre a costa (Cvijić, 2017).

Ford e Williams (2007) notaram características distintas acerca da gênese e forma do *Karren*, estabelecendo quatro grupos principais de *karren*, que são basicamente 1) formas planas circulares, 2) formas lineares controladas por fraturas, 3) formas lineares controladas hidrodinamicamente e 4) formas poligenéticas. a) Natureza da reação química que envolve a rocha, o dióxido de carbono e a água; b) Natureza, quantidade e distribuição da precipitação, seja ela na forma de chuva ou neve; c) Natureza e textura da rocha, especialmente dos carbonatos; d) A declividade da rocha

e suas estruturas; e) A natureza da cobertura de solo e vegetação e, f) Fases climáticas do passado, uma vez que muitas das feições podem se relacionar a esse passado climático.

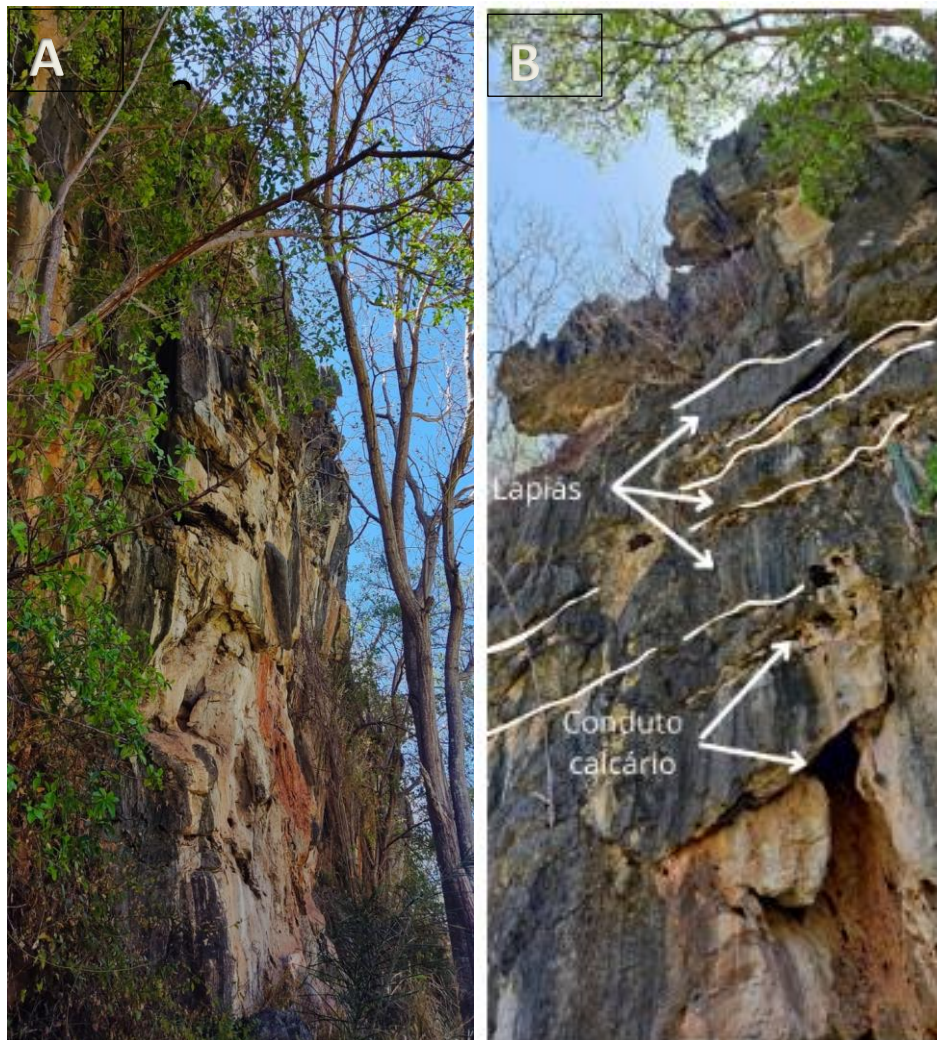
Figura 25 – Carste formado por lapiás identificados na superfície lateral de paredão calcário.



Fonte: Do autor (2022).

Uma outra variação desta morfologia, são os pináculos ou lapiás em agulhas. Tratam-se de feições pontiagudas, devido à dissolução de calcários altamente fraturados. A dissolução ocorre verticalmente, na parte superior das fendas dos lapiás (*klufikarren*), formando pontas afiadas que se destacam na paisagem do maciço. Esta feição está presente na área em epígrafe, entretanto, estão localizados em pontos mais isolados, geralmente entre os limites superficiais de blocos residuais (*Bouders*).

Figura 26 – Vista lateral do paredão calcário. (A) vista da lateral direita do paredão e em (B) vista lateral esquerda. Atentar para as feições cársticas na superfície do paredão, com conjuntos de lapiás em caneluras e condutos calcários.



Fonte: Do autor (2023).

Os condutos calcários, identificados no referido paredão, possuem formas e tamanhos variados, desde pequenos condutos, da ordem de alguns milímetros de circunferência, até condutos com cerca de 50 centímetros de diâmetro, estes últimos, em menor número e concentrados próximos a base da feição. Estas formas estão orientadas em diversas posições, possuindo sua abertura inicial, ocasionada pelo processo de corrosão da rocha pela ação da água meteórica, na porção superior do paredão, identificados por pequenas fraturas entre os lapiás que preenchem o topo da rocha.

O processo de intemperismo em rochas calcárias, principalmente na formação e evolução dos lapíais, pode ter vários mecanismos de ação. Especificamente nas feições analisadas, conjunto em caneluras, os mecanismos associados a evolução destas feições são frequentemente de origem química e física, se traduzindo na ação direta da umidade, temperatura, pluviometria, vento e microorganismos. Estes últimos, são capazes de se adaptar sobre as rochas em condições extremas de escassez de nutrientes, sendo capazes de se desenvolver com uma baixa reserva de alimento. Trata-se de bactérias, fungos, algas inferiores, líquens e musgos (Talim, Bueno, 2014)

De acordo com Bigarella et al. (1994), organismos, como os líquens são resistentes e capazes de viver em qualquer tipo de ambiente, como sobre as rochas desnudas. Esses seres sobrevivem nas superfícies com pequena concentração de água e extraem os nutrientes dos minerais das rochas por meio de troca catiônica.

Os líquens possuem grande contribuição para o processo de intemperismo químico e físico da rocha, atuando em conjunto com o processo sazonal de expansão das mesmas, variando de acordo com a temperatura e umidade. Nesta situação, ocorre a formação de planos de clivagem, que ocasionam a fragmentação dos minerais que compõem a rocha (Talim, Bueno, 2014)

3.2.2 Blocos residuais (*Boulders*)

Outra forma cárstica típica, identificadas no local, são os blocos residuais de metacalcário (*boulders*), de forma variável e amplamente distribuídas nas vertentes das cristas, podendo ser encontrados de maneira isolada ou aglomerada (*cluster*). Esses blocos foram, possivelmente, expostos depois que o manto de intemperismo que os recobriam foi removido, podendo ser transportados do seu local de origem, em certos casos, devido à configuração do relevo (declividade acentuada), passando a se configurar como material coluvial. (Cordeiro et al., 2017).

Os *Boulders* apresentam uma grande variedade de tamanhos e formas, refletindo a variabilidade do espaçamento das fraturas nas rochas carbonáticas e evidenciam a dissolução diferencial da rocha. (Cordeiro et al., 2017).

O conjunto de blocos residuais (figura 27) identificados na paisagem da região, possuem dimensões variadas. Partindo de tamanhos da ordem de 30 centímetros de altura e 50 centímetros de diâmetro, até blocos com cerca de 4 metros de altura e pouco mais de 6,5 metros de diâmetro.

A tabela (3), apresenta a morfometria média dos blocos residuais e lapiás identificados na paisagem.

Tabela 3 – Morfometria dos lapiás e blocos residuais identificados no vale do São Romão

Blocos residuais	Lapiás
Dimensões (Altura e Diâmetro)	<i>Dimensões (Altura e Diâmetro)</i>
Altura mínima - 30cm	<i>Altura mínima - ~15cm</i>
Altura máxima – 4m	<i>Altura máxima – 1,20m</i>
Diâmetro mínimo – 50cm	<i>Diâmetro mínimo – 12cm</i>
Diâmetro máximo – 6,5m	<i>Diâmetro máxima – 55cm</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 27 – Blocos residuais (*Boulders*) com presença de lapiás em suas cimeiras



Fonte: Do autor (2023).

A imagem acima (figura 27) apresenta uma formação de blocos calcários dispostos na vertente NE do vale do São Romão. É possível perceber a influência da vegetação na orientação de alguns dos blocos rochosos, (figura 28) demonstrando um controle na estrutura do bloco, ocasionada por raízes e vegetação de porte arbóreo, atuando principalmente no aumento das dimensões de algumas fraturas superficiais da rocha. Em alguns casos, há a presença de pequenos cipós que se encontram nas fraturas de maior profundidade.

Figura 28 – Blocos exumados (*boulders*) na porção sul do vale do São Romão. Observar a facilidade com que a vegetação se adapta as rochas do local.



Fonte: Do autor (2023).

3.2.3 Campo de lapiás (*karrenfield*)

Os campos de lapiás (*karrenfield*) (figuras 29, 30, 31) são uma das morfologias mais comuns em ambientes cársticos, configurando-se em áreas nas quais as feições dominantes são os lapiás (*karren*). Ocorre em áreas de carste exposto e pode ser constituído por um único tipo de *karren* ou por vários tipos em função das condições morfológicas e dos processos predominantes (Cordeiro et al., 2018).

De acordo com Ginés (2009) para que possamos considerar como um campo de lapiás, é necessário que a paisagem apresente um mínimo de 50% de exposição superficial da rocha.

Figura 29 – Blocos de metacalcário descobertos (*Boulders*) na vertente SE vale. Destaca-se que o registro é do período chuvoso, evidenciado pela vegetação verde. As setas na coloração escura indicam a formação de pequenas caneluras em grande parte dos blocos residuais, possibilitando a formação de um pequeno campo de lapiás (*karren field*).

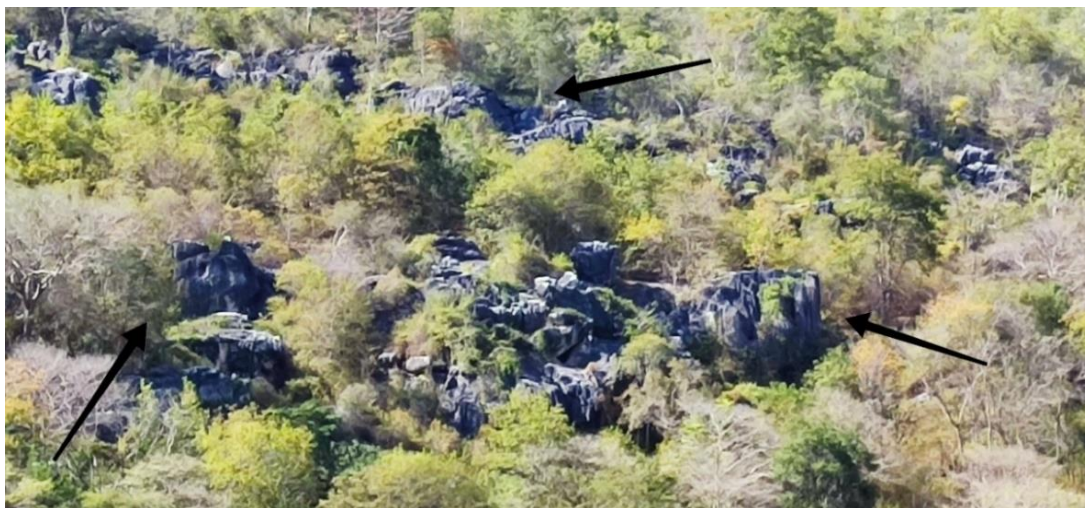


Figura 30 - Blocos de metacalcário descobertos (*Boulders*) na vertente SE vale. Destaca-se que o registro é do período de estiagem, evidenciado pela vegetação seca.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 31 – Conjunto de lapiás caracterizando um campo de lapiás. Na imagem (A), demonstra-se as feições a partir da base dos blocos, a qual abriga uma caverna, enquanto a figura (B) apresenta uma visão da parte superior do conjunto de blocos residuais. Encontram-se expostos na vertente Leste do vale do São Romão.



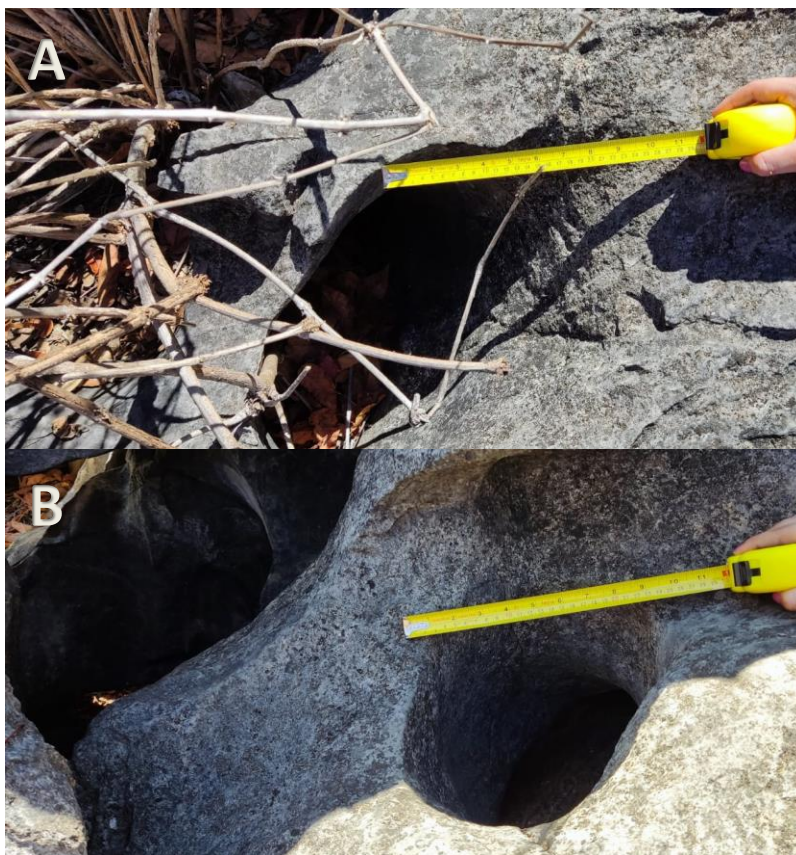
Fonte: Do autor (2023).

3.2.4 Bacias de dissolução (*Karremanezitas*)

A bacia de dissolução, marmitta de dissolução ou *kamenitza* é um tipo de lapiá (*karren*) que se desenvolve em estruturas horizontais (local onde possuem formas mais simétricas) ou sub-horizontais (normalmente com formas mais assimétricas) (Travassos, 2015; 2019).

São depressões geralmente circulares, com fundo em rocha exposta ou coberta por materiais finos ou pouco espessos. Constituem locais de permanência, mais ou menos prolongados da água da chuva, cuja agressividade pode ser reforçada por ação orgânica. (Travassos, 2015).

Figura 32 – Bacias de dissolução observadas na superfície de bloco residual. A figura (A) apresenta uma bacia de dissolução que possui saídas no seu fundo, indicando ação de maior intensidade na dissolução e/ou por maior tempo. Enquanto na imagem (B), é apresentado uma bacia de dissolução com grande profundidade, podendo se tornar um conduto calcário em tempos futuros.



Fonte: Do autor (2023).

As bacias de dissolução verificadas na região (figura 32), possuem tamanhos e formas variadas, desde aquelas que apresentam uma cavidade profunda, da ordem de algumas dezenas de centímetros, até aquelas que não passam de 5 centímetros de profundidade. O diâmetro dessas feições é muito variável, com algumas apresentando até 45 centímetros de diâmetro máximo, enquanto outras, não ultrapassam os 10 centímetros.

Estas bacias são identificadas em grandes blocos residuais de metacalcários, indicando a necessidade de uma área de escoamento maior para que a gravidade possa atuar, permitindo a retenção da água nessas feições, culminando no aprofundamento das mesmas. Associadas as estas feições, verifica-se uma ampla área de escoamento na base de alguns dos blocos residuais, que é

limitado pelas bacias na parte menos elevada e pelo próprio solo, que recobre parte da base do bloco residual.

3.2.5 Alvéolos calcários

Os alvéolos calcários (figura 33), se tratam de pequenas cavidades causadas pela erosão e com forma similar a favos de mel (Travassos, 2015). Possuem tamanhos relativamente similares, variando em poucos centímetros entre um e outro. Sua morfometria, como visto na figura 33, varia de 3 a 8 centímetros, geralmente abrigando algum tipo de matéria orgânica, a exemplo de folhas.

Figura 33 – Conjunto de Alvéolos na superfície de um Boulder.



Fonte: Do autor (2023).

Também podem ser chamados de lapiás alveolares, se caracterizando como pequenas concavidades subcirculares parecidas com cálices, que podem variar em diâmetros de 1 a 5 cm e que, em alguns casos, podem ter mais de 2 cm de profundidade. Geralmente aparecem em grupos e podem coalescer, dando impressão de uma superfície rochosa irregular. O processo de formação

é relativamente simples e é a consequência do impacto das gotas de chuva na rocha (Travassos, 2019).

O seu aspecto evolutivo está ligado diretamente a dissolução do carbonato de cálcio pela água, essencialmente a água capitada das chuvas que ocorrem anualmente no período da quadra chuvosa. Em outra morfologia, (figura 34) há elementos morfológicos que indicam o processo final de evolução destas feições, culminando em um pequeno bloco rochoso que não apresenta divisões circulares, tais como os alvéolos, demonstrando o alto grau de dissolução produzido pela água de origem meteórica (Travassos, 2019).

Figura 34 – Feição calcária que apresenta aparência indiscriminada, provavelmente, o resultado da evolução de dissolução dos alvéolos calcários, que culminou no colapso de partes menos rígidas do bloco rochoso.



Fonte: Do autor (2023).

Estas feições podem ser verificadas entre blocos residuais e mesmo, sobre algumas destas feições. Observou-se a presença, quase constante, de matéria orgânica no interior dos alvéolos, destacada por Travassos (2019), como um dos elementos que atuam ativamente na dissolução da rocha carbonática. Tal situação traz o indicativo de ação biológica na dissolução do material carbonático que compõe os blocos rochosos da região.

3.2.6 Lapiás em fendas (*Kluftkarren*)

Tratam-se de feições que se desenvolvem em superfícies preferencialmente horizontais ou sub-horizontais devido ao processo de dissolução e alargamento de discontinuidades, como as juntas, fraturas e diaclases (Figura 35). O tamanho e a profundidade são bastante variáveis. É perceptível em campo que o desenvolvimento desse tipo de *karren* pode ocorrer quando a rocha está encoberta por solo, com uma fina camada sendo suficiente, em que, logo após, pode ocorrer a remoção da cobertura e, o processo de dissolução e consequente alargamento continuam durante a evolução do sistema (Travassos, 2019).

Figura 35 – Lapiás em fendas na parte superficial de um bloco residual. Observar os cortes em várias direções na superfície da rocha.



Fonte: Do autor (2023).

Estas feições estão distribuídas em grande parte dos blocos residuais visitados, sendo sempre associadas a presença dos mesmos. Sua variação morfométrica é da ordem de alguns milímetros até cerca de 2 centímetros, tratando de sua largura e profundidade. Quanto ao seu comprimento, algumas fendas identificadas podem atingir os 20 centímetros de comprimento, com um mínimo de cerca de 8 centímetros.

3.2.7 Lapiás em planos de acamamento (*Schichtfugenkarren*)

Uma outra feição do exocarste identificada em campo, são os lapiás em planos de acamamento ou horizontais, desenvolvidos a partir da dissolução preferencial, ocorrida nos planos de acamamento horizontais ou sub-horizontalizados do pacote rochoso (Travassos, 2019).

Na imagem abaixo (figura 36), são apresentadas as feições de dissolução que aparecem horizontalmente, logo acima de um conjunto de lapiás em caneluras. Durante as observações, verificou-se a associação destes tipos de feições com grandes blocos residuais exumados (*boulders*), ou a junção dos blocos residuais, tais como na figura 36. Estas feições possuem uma abertura entre os planos horizontais da ordem de 20 cm, possuindo uma extensão de alguns metros, tanto em largura, quanto em comprimento.

Figura 36 – Lapiás em planos de acamamento localizados na cimeira de um grande bloco residual.



Fonte: Do autor (2023).

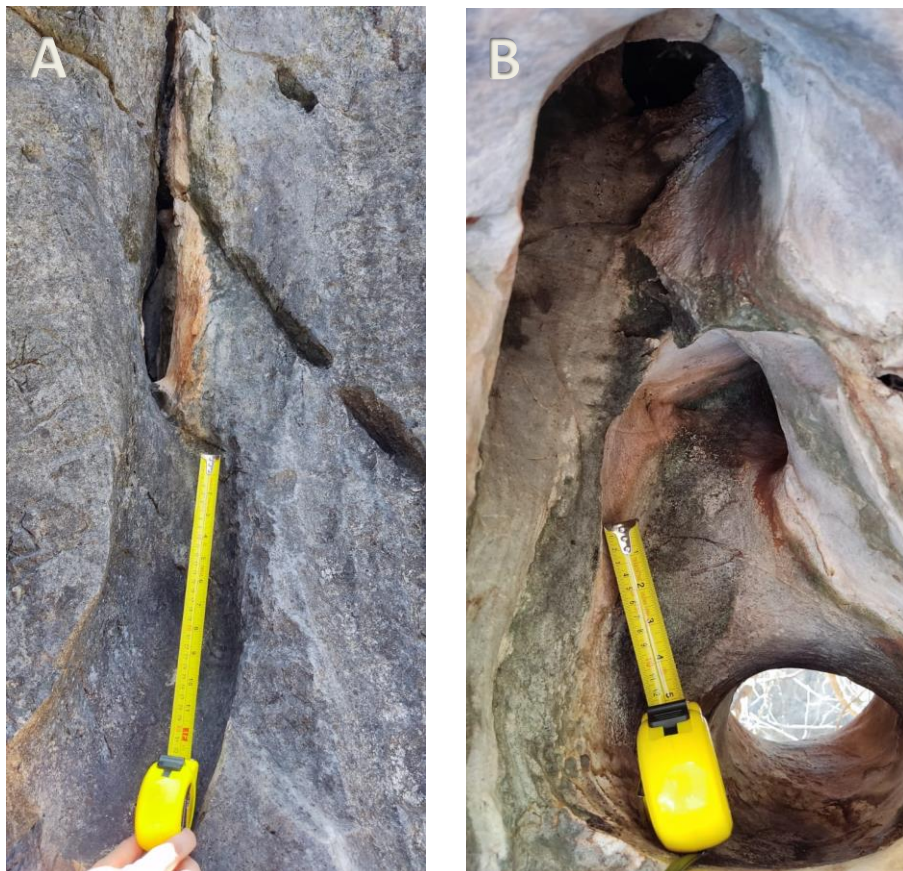
3.3 Endocarste

3.3.1 Microformas do endocarste – Condutos calcários

O principal fenômeno que desencadeia a formação de feições cavernícolas e espeleotemas, ligado intimamente a dissolução, é a corrosão da rocha, especialmente aquela que possui alta tendência a solubilidade, ou seja, detêm as características químicas propícias para o processo. Na terminologia carstológica e espeleológica tradicional, significa a dissolução da rocha carbonática.

A partir da rocha, a água transforma o carbonato de cálcio (CaCO_3) em bicarbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ que é solúvel em água e facilmente transportado. A água rica em CO_2 é mais agressiva e pode dissolver o carbonato de cálcio (Travassos, 2019).

Figura 37 – Condutos calcários observados em blocos residuais. Na imagem (A), observa-se a fenda/fratura na superfície da rocha, sendo a feição responsável pela entrada da água no interior da rocha. Na imagem (B), é apresentado um conduto calcário peculiar, onde se observa a presença de três aberturas principais, denotando um processo de dissolução antigo e intenso.



Fonte: Do autor (2023).

O conduto apresentado na imagem (B) (figura 37), apresenta marcas de escoamento da passagem da água, indicando a sua atividade recente, proveniente das chuvas recorrentes no período do verão, na chamada quadra chuvosa. Estes condutos “perfuram” a rocha em muitos dos blocos identificados, demonstrando o alto grau de solubilidade do metacalcário.

Os Condutos podem se apresentar, quanto a sua nomenclatura e conceito, como: 1) Nome dado aos vazios subterrâneos que são gradativamente alargados pela dissolução; 2) Vazios de dissolução relativamente grandes, que incluem fissuras alargadas e túneis tubulares. Em alguns casos, o uso do termo é restrito a vazios que são preenchidos por água. Condutos (figura 38) podem incluir vazios maiores que 10 mm em diâmetro, mas existem classificações que incluem um limite de 100 milímetros a 10 metros (Travassos, 2019).

Figura 38 - Conduto calcário formado a partir de uma bacia de dissolução. No bloco em questão, observa-se que o conduto perfurou a rocha, o atravessando em sentido vertical.



Fonte: Do autor (2023).

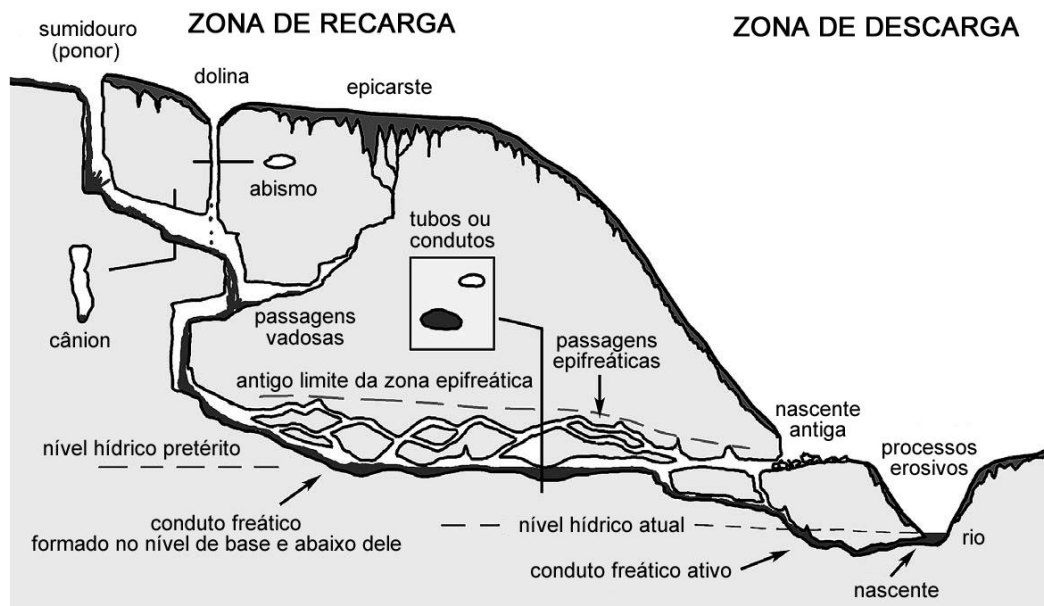
3.3.2 Cavernas epigênicas ou epigenéticas

As cavernas, em termos legais, são entendidas de formas similares, porém, com relativas diferenças. Assim, estabelece-se como uma cavidade natural subterrânea. 1) Aberturas ou reentrâncias na rocha, capazes de permitir a entrada do ser humano; 2) Do ponto de vista geológico, reentrâncias na rocha provocadas pela dissolução (Travassos, 2019). Para Auler et. al., (2003) as cavernas podem ser entendidas como qualquer abertura, da ordem de milímetros que tenha a função de conduzir água para o subterrâneo.

Com relação ao tipo de formação, há duas variações principais de cavernas, como aquelas denominadas de epigênicas, que se tratam de cavernas formadas pela água que adquire a sua capacidade de dissolução diretamente das condições da superfície.

Este é o tipo evidenciado na região do vale do São Romão, estando presente em três pontos distintos da região, especificamente sob três grandes blocos de metacalcário (*boulders*), verificados em uma vertente de crista residual, ao norte da vila do São Romão, orientada seguindo a direção dos lineamentos de cristas, na direção NO - SO Figura (24). A figura 39 apresenta o perfil transversal de uma caverna típica, com elementos reconhecidamente atuantes na morfologia cavernícola do vale do São Romão.

Figura 39 - Seção transversal idealizada de um Sistema Cárstico Epigênico



Fonte: Adaptado de Travassos (2019).

A caverna consiste de um canalítico de diâmetro milimétrico, que evoluirá ao longo do tempo, para o nível de uma caverna de maior porte através do processo de breakthrough, onde o regime de fluxo passa a ser turbulento (Auler, et al., 2003)

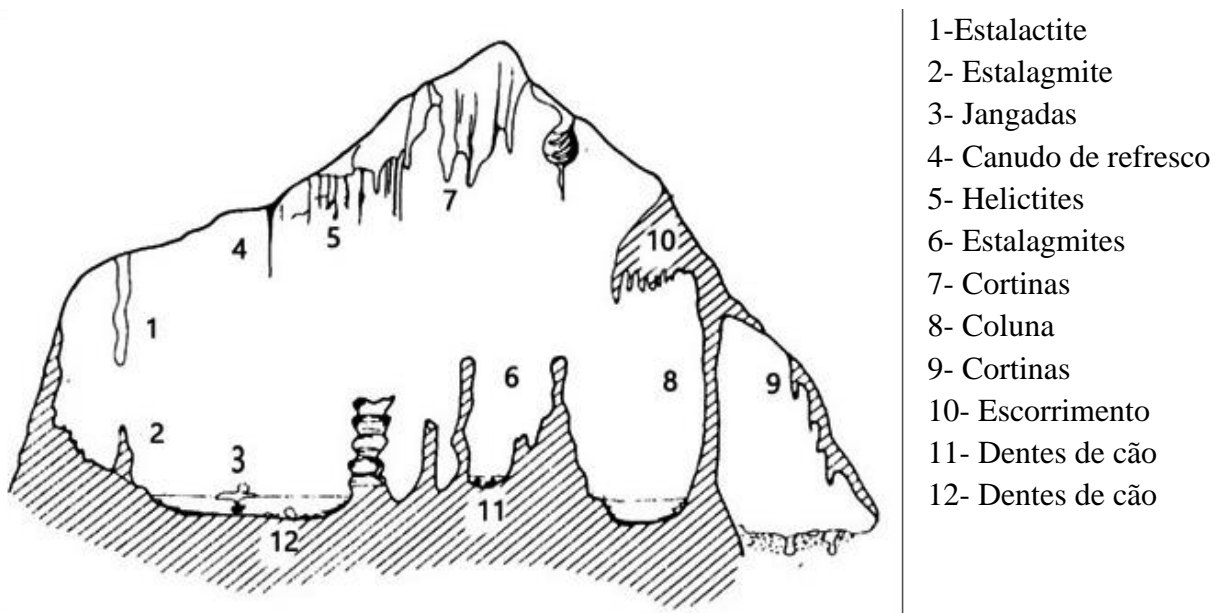
A espeleogênese pode ser observada na escala do conduto e na escala do sistema como um todo. Na escala do conduto, existem dois tipos principais de escavação, sendo a primeira, os sistemas saturados ou freáticos, em que a água preenche todo o conduto e o intemperismo ocorre ao longo de toda seção. Nesse caso a dissolução geralmente acentua o condicionamento estrutural e geológico, mas, em alguns casos, pode ser isotrópica favorecendo a formação de passagens bem mais circulares, denominadas de condutos freáticos. No segundo caso, consiste em sistemas não saturados ou vadosos, onde a água flui livremente, mas é mais concentrada nas partes mais baixas do conduto (Travassos, 2019)

Destaca-se que, se por algum motivo a água não estiver saturada de CaCO_3 , o processo de dissolução pode ocorrer, posteriormente, em profundidade. Dessa forma, com a profundidade no bloco rochoso, a água que esteja saturada pode se tornar agressiva se por acaso dentro do sistema, as condições físicas e químicas se alterarem. Portanto, a dissolução poderá ocorrer, escavando o subterrâneo.

A datação de uma caverna é uma tarefa muito complicada de ser executada, principalmente por seu material original já ter desaparecido com a dissolução da rocha. Dessa forma, a datação dos sedimentos restantes, fornecerão uma data, geralmente mínima, para a idade de determinado ambiente cavernícola. No território brasileiro, a maioria das cavernas identificadas foram originadas, provavelmente durante o terciário, porém, sua evolução ocorreu durante o quaternário (Auler, et al., 2000).

Com relação ao metacalcário, litologia que sustenta as feições cársticas do local, sua grande resistência mecânica permite que tais cavidades naturais subterrâneas permaneçam estáveis, favorecendo o fluxo hídrico, tanto alargando as passagens, quanto depositando sedimentos ao longo do caminho. Cavernas em rochas porosas jovens são consideravelmente diferentes daquelas em rochas fraturadas antigas. Nesta última, a espeleogênese é governada pelo fluxo ao longo das fraturas, se manifestando em planos e juntas de assentamento, estando a condutividade da matriz em situação insignificante. Por meio disso, os conduítes se desenvolvem ao longo das direções de fluxo nessas fraturas (Dreybrodt et al., 2009).

Figura 40 - Esquema para identificação dos espeleotemas mais comuns encontrados nas cavernas.



Fonte: Adaptado de Travassos (2019)

É praticamente certo que os espeleotemas sejam as feições cársticas mais conhecidas pelo público em geral e o motivo principal para visitação turística a uma caverna. Trata-se de um termo bem consolidado na literatura, se traduzindo em formas de deposi o existente no interior das cavernas, que apresentam grande valor científico e, em alguns casos, têm grande valor para alguns grupos sociais (Travassos, 2019).

De um modo geral, não   muito bem estabelecido a divisão com rela o aos tipos de espeleotemas existentes, mas os mesmos podem ser classificados de acordo com sua origem e forma (Travassos, 2019). Para isso, White (2012) prop o o seguinte agrupamento dos espeleotemas em formas criadas pelo fluxo, pelo gotejamento, pelo movimento da água e pela água estagnada.

Tabela 4 - Uma breve proposta de classifica o dos espeleotemas.

A. Formas criadas pelo fluxo hídrico	1. Escorrimentos 2. Represas De Travertino 3. Coraloides.	DEPÓSITOS DE ÁGUAS CIRCULANTES
B. Formas criadas pelo gotejamento	1. Estalactites 2. Estalagmites 3. Colunas	DEPÓSITOS DE ÁGUAS CIRCULANTES

	4. Cortinas	
C. Formas criadas pelo movimento da água	1. Crostas 2. Helictites 3. Flores de caverna	DEPÓSITOS DE ÁGUAS CIRCULANTES
D. Formas criadas pela água estagnada	1. Dentes de cão 2. Concreções (incluindo pérolas de caverna e jangadas)	DEPÓSITOS DE ÁGUAS PARADAS

Fonte: Adaptado de Travassos (2019)

As feições abordadas aqui, são constituídas por carbonatos, mas podemos encontrá-los em cavernas desenvolvidas em outros meios hídricos, 2) pelo gotejamento, 3) pelo movimento da água em capilaridade e 4) formas criadas pela água estagnada. Percebemos que a classificação foi pensada com base nas características do fluxo dos fluidos que depositam os espeleotemas (Travassos, 2019). Nas pequenas cavernas identificadas na região, foi verificada algumas formas típicas dos espeleotemas tratados na figura 40 e visíveis a partir da figura 41 e 42.

Figura 41 – Caverna localizada em vertente do vale do São Romão. Observar a entrada da caverna, formada por blocos pontiagudos e fraturas superficiais.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 42 – Interior de caverna presente no vale do São Romão. Notar os espeleotemas identificados na abertura da caverna e seu interior mais profundo.



Fonte: Do autor (2023).

O interior da feição cavernosa de maior abertura no local, possui espeleotemas característicos de cavernas de grande porte, destacando-se espeleotemas como escorrimentos, e pequenos conjuntos de coraloides e represas de travertinos.

Sobre a primeira feição (escorrimento), é caracterizada como o fluxo de água dentro das cavernas, que pode ocorrer na forma de rios subterrâneos ou de lâminas d'água, no chão ou nas paredes das cavernas. Se pensarmos nas características químicas dessas finas lâminas d'água, percebemos que, por serem drenadas a partir do epicarste para a zona vadosa, apresentam grandes concentrações de carbonato dissolvido, bem como maiores pressões de CO_2 . Assim, temos a formação dos espeleotemas conhecidos como escorrimentos, que podem aparecer dentro das cavernas ou fora delas (Travassos, 2019).

Um outro espeleotema identificado, são os coraloides, que recebem esse nome por serem depósitos de calcita microcristalinos ou botrioidais, que se distinguem por apresentarem superfícies externas convexas (Travassos, 2019). São identificados nas paredes e tetos de cavernas, como no caso da caverna tratada nas figuras 41 e 42. Como destacado por White (2012), são geralmente pequenos, variando de milímetros a centímetros, e crescem nas paredes das cavernas ou sobre outros espeleotemas. Alguns são totalmente compostos de calcita; outros contêm aragonita e outros minerais que, certamente, não estão associados ao fluxo de água.

Um terceiro tipo de espeleotema pode ser identificado na caverna em questão, as represas de travertino. Segundo White (2012) os cursos d'água nas cavernas apresentam-se menos saturados de carbonatos e CO_2 , mas ainda assim, possuem as condições para formar as chamadas represas de travertino da ordem de pequenas, médias e grandes dimensões. Para o mesmo autor, a gênese desse espeleotema não é bem conhecido, mas acredita-se que microrganismos podem ter um papel fundamental na deposição e represamento da água rica em CO_2 . Para Travassos (2019), tratam-se de um tipo especial de escoamento que possui forma semelhante a represas por onde a água é ou já foi represada.

Espeleotemas formados pelo fluxo hídrico são depósitos mais comuns de serem encontrados nas paredes, tetos e pisos das cavernas e, no Brasil, são conhecidos como depósitos de águas circulantes. Impulsionados pela força da gravidade e a deposição de minerais contidos em soluções aquosas, ocorrem por meio do escoamento, gotejamento ou turbilhonamento, os três principais mecanismos de formação.

Figura 43 - Abertura natural (caverna) em bloco residual. A trena está aberta em um comprimento de 30 centímetros.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 44 - Feição endocárstica presente em um paredão calcário. Observar a formação de grandes condutos calcários, originados a partir do escoamento subterrâneo proveniente de fraturamentos no topo do paredão.



Fonte: Do autor (2023).

3.4 Aspectos evolutivos do carste da região

O processo de carstificação necessita de vários fatores, para que, atuando em conjunto, criem as condições necessárias para tal. A evolução das formas geomorfológicas do entorno do maciço Quincuncá, região que agrega o vale do São Romão, contam com características particulares, estando alinhadas a mudanças recentes nos padrões climáticos, mais especificamente no Quaternário.

Sobre isso, Oliveira et al. (2014) afirma que, atualmente o cenário mais aceito, principalmente por estudos advindos da paleontologia, Geomorfologia, Geologia e PaleoBotânica, é que alguns ecossistemas completamente discordantes do padrão de aridez proposto por Ab´Saber (1982) possuem características do padrão climático do Pleistoceno Tardio.

Nesse âmbito, o vale do São Romão, encaixado entre o maciço e a depressão sertaneja, apresenta esta variedade de formas, sendo característico o aporte pluvial anual diferenciado entre as demais áreas da circunvizinhança.

Para Auler et al. (2005), a evolução geomorfológica dos ambientes cársticos ocorre predominantemente durante o Quaternário, ainda que os processos de controle estrutural possam ter sido herdados de períodos mais antigos.

No Nordeste brasileiro, o desenvolvimento de morfologias cársticas constituem indicadores confiáveis da atuação de paleoclimas (Vasconcelos et al., 1994). As morfologias cársticas presentes em ambientes de climas secos, a exemplo das feições identificadas no Vale do São Romão, se configuram em importantes indicadores de paleoclimas, sendo, dessa forma, interpretadas como feições herdadas de períodos nos quais a precipitação e umidade eram mais expressivas (Auler et al., 2005).

O ambiente cárstico presente na região em apreço tem sua formação ligada diretamente a climas pretéritos, algo identificado pelas formas de dissolução presentes em partes do relevo da região. Tal constatação pode ser explicada pelas considerações trazidas por Barreto et al. (2007, p. 16), destacando que, “nos terrenos calcários sob clima árido ou sob clima semiárido as formas cársticas são respectivamente pouco desenvolvidas ou ausentes.

As feições existentes nessas áreas podem ser explicadas como relíquias formadas durante regimes climáticos mais úmidos Barreto et al. (2007, p. 16); Vasconcelos et al. (1994). Proporcionando condições de temperatura e umidade elevadas, que condicionaram sua gênese e evolução (Peulvast, Bétard, 2015).

Como expressado por Carvalho (2014), através de estudos palinológicos, comprovou-se uma das antigas teorias acerca da evolução da Caatinga nordestina, sendo uma região que abrigava dois grandes corredores de migração, entre a mata Atlântica e a Amazônia. Estes corredores de migração estiveram ativos entre o período de transição do Pleistoceno, para o Holoceno.

Para Cavalcante e Bastos, (2017), o carste em regiões áridas, em consequência da escassez da cobertura vegetal densa e solos pouco desenvolvidos, a quantidade de CO₂ é muito pequena, o que acaba por limitar o desenvolvimento desse tipo de feição. Diferentemente, as condições climáticas e por conseguintes, hidrológicas atuais, não são suficientes para explicar a ocorrência dessas feições exocársticas.

Citando um contexto climático semelhante a situação do vale do São Romão, Tricart e Cardoso da Silva (1961) colocam que o clima em que se situa a gruta de Bom Jesus da Lapa, no estado da Bahia, possui características desfavoráveis a carstificação, uma vez que os totais pluviométricos da região giram em torno de 700 à 900 mm ao ano.

Na região em apreço, destaca-se cristas residuais estruturadas em metacalcários da Formação Independência, datada de pelo menos 650 Mi de anos (CPRM, 2021), com feições cársticas erosionais (exocarstes) elaboradas por processos de dissolução e corrosão, que incluem paredões enrugados, *karren*, e *boulders* corroídos pelo intemperismo químico. Trata-se de um conjunto de cristas desenvolvidas segundo as direções dos principais sistemas de falhas regionais (NE-SW), que atualmente influenciam no controle estrutural da drenagem e, portanto, na dissecação e deposição quaternária.

Em termos de idade geológica, há que fazer uma primeira distinção pois, não há vínculo entre a idade das rochas que compõem os morros testemunhos com a idade da sua escultura, em termos geomorfológicos. No Brasil, existem numerosos exemplos de morros testemunhos ruiformes com camadas que remontam ao Carbonífero e ao Devoniano. No entanto, os morros foram elaborados, muitas vezes, ao fim do Terciário e início do Quaternário, após fases prolongadas de plainações laterais. Estas litologias podem remontar de idades entre 250 ou 300 milhões de anos, enquanto que sua idade em termos morfológicos, podem se situar entre 1 milhão e 15 milhões de anos (Ab'Saber, 1970).

As feições superficiais e subterrâneas que compõem os ambientes cársticos tiveram sua gênese, em grande parte, durante o período Quaternário, à aproximadamente 1,6 Ma. (Piló, 2000). Ainda sobre os períodos de oscilações climáticas com grande intensidade pluviométrica, Behling et al. (2000) destaca, por meio de registros palinológicos encontrados em amostras da plataforma continental leste do Estado do Ceará, que a pluviosidade era consideravelmente mais expressiva entre os períodos de 40, 33 e 24 mil anos A.P, observando ainda que, a maior taxa de precipitação ocorrida no Nordeste brasileiro se deu entre 15.500 e 11.800 anos A.P. Dessa forma, demonstrando que as feições cársticas do Vale do São Romão passaram por seu mais expressivo desenvolvimento durante o Pleistoceno tardio.

A região do Vale do São Romão conta com uma particularidade pluviométrica, apesar de estar dentro da zona de clima semiárido, sofre influência do relevo representado pelo maciço do Quincuncá, que por sua altimetria elevada, em relação ao vale, atua como uma barreira de umidade

durante a quadra chuvosa da região. Essas condições favorecem o soerguimento das massas de ar úmidas originadas no litoral, que chegam à região pela calha do rio Jaguaribe, formando nebulosidade, e aumentando a ação convectiva por ocasião do período chuvoso (Cordeiro, 2017).

O aumento das precipitações traz maior permanência ao escoamento fluvial e por consequência a maior capacidade de dissecação efetuada pelos canais de drenagem, que se encontram confinados por uma sequência de cristas residuais, proporcionando uma maior declividade do relevo (Cordeiro, 2017). Entretanto, trata-se de eventos muito limitados temporalmente, com boa parte da umidade trazida a região se concentrando em 4 meses do ano, de janeiro à abril, concordante com a condição climática do semiárido brasileiro.

Atualmente, estes regimes pluviométricos não são suficientes para causar grandes transformações nas morfologias cársticas da região, desse modo, limitando os processos atuais de dissolução de carbonatos relacionados ao intemperismo químico (Maia; Bezerra, 2014). O lento processo de arruinamento e transformação em morfologias cársticas, continua nos dias atuais, tendo sofrido todo o impacto das variações climáticas e ecológicas do Quaternário inter ou subtropical (Ab'Saber, 1970). Dessa forma, as feições cársticas do vale do São Romão se encontram com processos evolutivos ativos, no entanto, em lenta evolução.

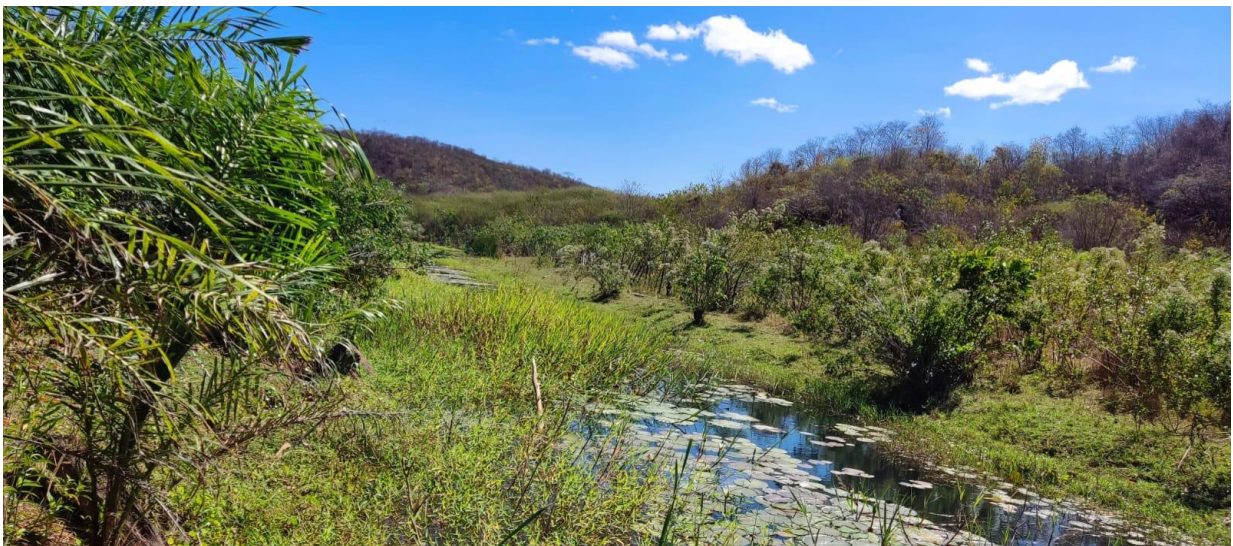
Ainda que limitado no tempo e espaço, há a ocorrência de processos de intemperismo químico (dissolução), físico (desagregação) e até mesmo ações biológicas na modelagem atual das feições da região. Os processos denudacionais atuantes são controlados, principalmente, pelos fenômenos de cunho químico (dissolução), condicionadas pela umidade concentrada temporalmente, uma vez que a morfogênese química ocorre essencialmente no período úmido. Dessa forma, observou-se que estas feições possuem atividade de dissolução e intemperismo, ocasionada pelo conjunto de condições climáticas comuns na região nordeste, mas com um maior grau de pluviosidade em relação as morfologias vizinhas.

Esse contexto climático, em que as precipitações são concentradas em um curto período de tempo, limita a dissolução dos carbonatos em solução aquosa (Carvalho Júnior et al., 2008), ficando, esta, limitada ao escoamento superficial laminar e difuso, e aos canais intermitentes sazonais que, no período chuvoso, possuem elevada competência erosiva e descarga sólida, e no restante do ano constituem vales secos (Cordeiro, et al., 2018).

Os processos denudacionais, nas zonas de deformação de direção NE-SO, ocasionaram o surgimento de *trends* de lineamentos, representados por uma sequência de cristas residuais simétricas, com resistência diferenciada a morfogênese física e química, constituídas por metacalcários da formação independência e por ortognaisses de composição granítica a granodiorítica, associados ao Complexo Granjeiro (Cordeiro, et al., 2018; CPRM, 2003).

. Essas feições residuais, distribuídas em faixas paralelas e de forma descontínua, com vertentes curtas e topo semiconvexo, apresentando inclinação entre 20 a 45%, constituem uma superfície erosiva dissecada em cristas (Cordeiro et al. 2018).

Figura 45 – Principal curso de água do Vale do São Romão. Notar a proximidade do córrego com um ponto de presença de feições cársticas, ao fundo.



Fonte: Do autor (2023).

Apesar de grande parte do mecanismo de intemperismo/erosão está alinhado com a pluviometria, o principal curso de água do vale (figura 45 e 46), responsável por grande parte da drenagem da região, possui papel ativo no processo evolutivo das feições cársticas da região, atuando de forma constante no suporte de umidade para a vegetação que se encontra as suas margens, o que possibilita que em alguns locais, com presença de blocos residuais, haja uma interferência da umidade do solo no processo de corrosão/intemperismo da rocha, ocasionado em especial pela umidade, mas também por agentes bióticos, tais como os musgos.

Figura 46 – Leito do curso d'água que corta o vale do São Romão. As setas escuras indicam o limite do leito do curso d'água.



Fonte: Do autor (2023).

Destaca-se também, a importância do contexto geomorfológico de área, atuando como um potencializador dos agentes denudacionais. Este agente, é responsável por uma maior concentração do fluxo hídricos nas vertentes carbonáticas, a partir da evolução morfogenética local que, através de processos de erosão diferencial, permitiu a exumação dos metacalcários em setores topograficamente mais dissecados, condicionando uma maior capacidade energética dos fluxos hídricos.

Nesse sentido, cabe destacar a ondulação das cristas residuais da região, variando de média a forte, que potencializa a ação de agentes gravitacionais, de grande importância para o poder de dissolução da água sobre rocha calcária, além de permitir em alguns casos, a desagregação mecânica de partes de blocos rochosos intensamente degradados.

O paredão calcário, como aquele identificado no local (figura 47), possui características propícias a formação de cavernas, uma vez que apresenta alto gradiente gravitacional, devido a sua forte inclinação vertical, podendo chegar os 90°, contando com grande número de fraturas e condutos calcários bem desenvolvidos.

Figura 47 – Conjunto de lapiás em caneluras na cimeira do paredão de lapiás, porção norte do vale



Fonte: Do autor, (2022).

A não identificação de alguns tipos morfologias, como destacados, as dolinas e vales cegos, possivelmente deriva das limitações climáticas da atualidade, que impõem condições de baixa umidade associada a períodos longos de estiagem (Cordeiro et al. 2018).

Nas incursões em campo, foram notadas grandes variações nos tipos de morfologias, estando as mesmas abordadas em seções anteriores. Cada região possui suas particularidades de gênese e evolução, como no caso particular dos metacalcários do vale do São Romão, não sendo possível atualmente determinar com exatidão a ocorrência de formas e processos em outras regiões. O uso de modelos de evolução dentro de uma mesma unidade morfoclimática, pode levar a erros de interpretação (Kohler, 1994). Dessa forma, impossibilitando a formulação de padrões únicos.

4 CONCLUSÃO

As feições cársticas presentes do vale do São Romão, sul do Ceará, encontram-se distribuídas em uma área com cerca de 28,2 quilômetros quadrados, situando-se em um local com a presença de cristas residuais. As referidas cristas, estruturadas nos metacalcários associados a formação independência, pertencente ao grupo Ceará, possuem uma série de lineamentos estruturais, provenientes dos processos estruturais que formaram a região. As cristas metacalcárias são orientados na direção NO – SO, perfazendo uma dimensão de cerca de 9 quilômetros.

Os fenômenos denudacionais nas cristas residuais da área de estudo revelaram uma diversidade de feições cársticas, tanto no sistema superficial, como subsuperficial, tais como lapiás, bacias de dissolução, paredões calcários e *boulders*, associadas aos processos de dissolução da rocha.

As feições cársticas são características de feições exocársticas de ambientes semiáridos que tem ocorrência em vários pontos do planeta, destacando-se os lapiás em caneluras, blocos residuais e campos de lapiás. No endocarste, encontra-se evidenciado formas típicas, tais como as cavernas e condutos calcários, este último, presente em vários blocos residuais ao longo do vale.

As cavernas identificadas nas vertentes das cristas residuais, pertencem a classificação de cavernas epigênicas, pois estão associadas aos processos relativos ao escoamento de água subterrânea a partir da superfície. Os espeleotemas identificados, tais como o escorrimento, coraloides e represas de travertinos, são feições endocársticas que podem ser verificadas nas cavernas presentes no vale do São Romão.

A gênese e evolução das feições cársticas da área, estão alinhadas as condições climáticas pretéritas, sendo reconhecidas como morfologias herdadas das flutuações climáticas de maior umidade ocorridas em períodos do quaternário (pleistoceno e holoceno), em que as condições climáticas passaram a ser mais propícias para sua gênese e evolução.

Atualmente as feições identificadas no local, apresentam evolução morfológica ativa, apesar de muito limitada, se dando principalmente pela baixa umidade durante grande parte do ano, contando, à região, com maior aporte pluvial/fluviial apenas no período da quadra chuvosa, obedecendo aos meses de janeiro, fevereiro, março e abril. Apesar do importante papel de retentor de umidade durante a quadra chuvosa, a altimetria do maciço do Quincuncá não é suficiente para

trazer grande quantidade de umidade para a área, que seria mais expressivo no processo de dissolução e intemperismo intenso.

Com um conjunto de feições de ordem superficial e subterrânea únicos na região, faz-se muito importante a gestão e ordenamento territorial responsável, com planejamento adequado, uma vez que, por ter a presença constante de atividades agrícolas e agropecuárias, a degradação, seja do solo, da água, da vegetação, e claro, da litologia, pode acarretar em danos permanentes as feições cársticas presentes na região, tornando importante o reconhecimento e preservação dessas feições e de toda a litologia metacalcária.

O Geoturismo é a vertente econômica que possui o maior potencial para ser desenvolvido na área. Esta atividade, planejada com responsabilidade e respeito as comunidades locais, pode trazer grande benefício econômico e social, não só para os residentes do local, mas todo o seu entorno, abrindo caminho para o investimento em Geoturismo variados.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, Aziz Nacib. **Topografias ruineformes no Brasil**. Geomorfologia, n. 50, p. 1-14, 1977. Disponível em: https://biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1348619_TopografiasRuineformesNoBrasil.pdf. Acesso em: 08 nov. 2023.
- ALMEIDA, Hermes Alves de. **Climatologia aplicada a Geografia**. Campina Grande: EDUEPB, 2016.
- AULER, A.; ZOGBI, L. **Espeleologia: noções básicas**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. (2005). Ambientes cársticos. In SOUZA, C. R. G. et al. (orgs.). **Quaternário do Brasil**. Holos, Ribeirão Preto: p. 321-342.
- BARRETO, Eline Alves de Souza. et. al. **Influências paleoclimáticas na morfologia cárstica em Sergipe**. Centro da Terra, Sergipe: 2007.
- BEHLING, H.; ARZ, H. W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Late Quaternary vegetational and climatedynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary ScienceReviews**, v. 19, n. 10, p. 981-994, 2000.
- BIGARELLA, J. J. et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ufsc. Acesso em: 05 jun. 2023. 1994.
- BORN, Myléne Berbert. Carste de Lagoa Santa, MG. **Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira**. SIGEP 15, CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Brasília: 2000.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. **Mapa Geológico do Ceará**. Mapa na escala de 1:500.000. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2003.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará**. Mapa na escala de 1:500.000. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2021.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; BERBET-BORN, M.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R.A. T. Ambientes cársticos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. P. 185-218.
- CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/18792343/livro-geomorfologia-valter-casseti>>. Acesso em: 14 Jul. 2022.
- CAVALCANTE, D. R.; BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N. **Contribuição para o estudo do carste em metacalcários do semiárido brasileiro: o caso das ocorrências do município de Tejuçuoca – CE**. *Élisée – Revista de Geografia da UEG*, v. 11, p. 1-16, 2017.

CAVALCANTE, D. R.; BASTOS, F. H. ; CORDEIRO, A. M. N **Elementos para Geoconservação do Patrimônio Espeleológico do município de Pacujá, Ceará, Nordeste do Brasil.** *Élisée – Revista de Geografia da UEG* , v. 11, p. 1-16, 2022.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Base digital de dados geoespecializados de cavernas do Brasil, 2011.** Instituto Chico Mendes. Disponível em:<<http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/prov>>. Acesso em: 18 Ago. 2022.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Potencialidade de ocorrência de cavernas.** Brasília, 2012. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/potencialidade-de-ocorrencia-de-cavernas.html>>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

COUTO, Edivando Vitor do; MANIERI, Daiany Duarte; MANOSSO, Fernando Cesar; FORTES, Edison. Correlação morfoestrutural da rede de drenagem e lineamentos da borda planáltica, Faxinal, Paraná. **Geociências**, São Paulo, UNESP, vol. 30, n. 3, p. 315-326, 2011.

COUTARD, Jean-Pierre; KOHLER, Heinz Charles; JOURNAUX, André. **Mapa do carste da região de Pedro Leopoldo – Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil – 1:50.000.** São Paulo: Revista do Instituto Geológico, 43-48, 2020.

CORDEIRO, Abner Monteiro Nunes. **Morfoestrutura e Morfopedologia da Serra do Quincuncá e entorno, Ceará, Brasil.** [Recurso eletrônico]. Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza: 2017.

CORDEIRO, Abner Monteiro Nunes; et al. **Formações Concrecionárias e aspectos genéticos e evolutivos do maciço do Quincuncá, província Borborema, Nordeste do Brasil.** V.19, n.2. São Paulo: Revista Brasileira de Geomorfologia, 2018.

CORDEIRO. Abner Monteiro Nunes. **Caracterização Geoambiental e Compartimentação Geomorfológica da Serra do Quincuncá e Entorno, Nordeste do Brasil.** V.34. São Paulo: Revista do Departamento de Geografia – USP, 2017.

CORDEIRO, A.M.N.; CAVALCANTE, D.R.; BASTOS, F.H. **Feições cársticas em metacalcários da Formação Farias Brito, sertão meridional do Ceará, Brasil.** In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.99-108. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_099-108.pdf>. Acesso em: 15 Out. 2022.

CORRÊA NETO, A.V.; BATISTA FILHO, J. Espeleogênese em Quartzitos da Serra do Ibitipoca, Sudeste de Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências**, vol. 20, pp 75-87. 1997.

CRISTOFOLLETI, Antônio. **Geomorfologia.** 2º. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CVIJIĆ, J. **CARSTE**: Uma monografia geográfica (1895). Belo Horizonte: PUC Minas, 2017. Tradução de Luiz Eduardo Panisset Travassos. Revisão de João Henrique Rettore Tottaro. ISBN 978-85-8239-051-1.

CVIJIĆ, J. **Geomorfologija**. Beograd/Yugoslavia, 1926. (Volume 2, Morfologie Terrestre).

DE WAELE, J.; PLAN, J.; AUDRA, P. Recent developments in surface and subsurface karst. **Geomorphology**, v.106, p. 1-8, 2009.

DREYBRODT, Wolfgang Dreybrodt, DOUCHKO Romanov, KAUFMANN, Georg. **Evolution of caves in porous limestone by mixing corrosion: a model approach hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins**. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1, 2009 pg – 67.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. United Kingdom: Wiley, 2007. 562p.

FRUMKIN, A. (Ed.). **Treatise on geomorphology**. San Diego (CA): Academic Press, 2013. p. 1-13. (Volume6, Karst Geomorphology).

FUNCEME-Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Base de dados pluviométricos**. Fortaleza: FUNCEME, 2019. Disponível em: <http://www.funceme.br/?page_id=2694>. Acesso em: 23 fev. 2022.

GINÉS, A. Karrenfield landscapes and karren landforms. In: GINÉS, A.; KNEZ, M.; SLABE, T.; DREYBRODT, W. (Eds). **Karst Rock Features: Karren sculpturing**. Ljubljana/Postojna: ZaložbaZRC, 2009. p. 13-24.

GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 13° ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUERRA, Antonio José Teixeira; GUERRA, Antonio Teixeira. **Novo Dicionário Geológico – Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HARDT, Rubens. **Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho – MT**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro: [s.n.], 2004.

HUGGETT, R. J. Ancient landscapes. In: HUGGETT, Richard John. **Fundamentals of geomorphology**. Second Edition, 2007. P. 378-407.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Manuais Técnicos e Geociência n° 5. 2° Edição. IBGE. Rio de Janeiro. 178 p. 2009.

IPECE-INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Ceará em mapas. **Mesorregiões geográficas**. Fortaleza: IPECE, 2022. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/129x.htm>>. Acesso em 06 Jul. 2022.

KARMANN, I. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do Ribeira de Iguape, sudoeste do estado de São Paulo**. 1994. 228p. Tese (Doutorado em Geociência), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.E. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. Revista **EspeleoTema**, v. 13, p. 105-167, 1979.

KOHLER, Heinz Charles. **Geomorfologia carstica na 96 volut de lagoa santa-mg**. 1989. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

LIMA, Danielle Lopes de Sousa; et al. **Agentes condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa em relevos serranos, o caso da Serra de Uruburetama, Ceará, Brasil**. In: **XVI Simpósio de Geografia Física e Aplicada**, Teresina: UFPI, UESPI, 2015 p. 2091-2098.

LIMA, Maria da Guia. **A História do intemperismo na Província Borborema oriental, Nordeste do Brasil: Implicações paleoclimáticas e tectônicas**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MAIA, Rubson Pinheiro, et al. **A importância do controle tectônico para a formação da paisagem Cárstica na Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil**. V. 13, n 4. São Paulo: Revista Brasileira de Geomorfologia, p. 451-463, 2012.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. **Tópicos de geomorfologia estrutural: Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014^a. 124p.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. **Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro**. Mercator, v. 13, n. 1, p. 127-141, 2014b.

MEDEIROS, Diogo Bernardino Santos de. **Mapeamento e análise integrada das unidades de paisagem (geofácies) do Seridó Potiguar**. 2019. 200f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MENDONÇA, Francisco; OLIVEIRA, Inês Moresco Danni. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: oficina de textos, 2007.

MENESES, I.C.R.R.C de. **Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, MG**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Tratamento da Informação Espacial, Belo Horizonte, p. 187. 2003.

MOURA, Pedro Edson Face. **Evolução geomorfológica do relevo Cárstico do município de Martins – Rio Grande do Norte**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, centro de ciências, programa de pós-graduação em Geografia. Fortaleza, p. 156. 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 480p.

OLIVEIRA, et.al. **Paleoclimas da Caatinga Brasileira durante o quaternário tardio**. Vol. 5., Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014.

OSBORNE, R.A.L. Preservation and burial of ancient karst. In: SHRODER, J.; FRUMKIN, A. (Ed.). **Treatise on geomorphology**. San Diego (CA): Academic Press, 2013. p. 95-103 (Volume 6, Karst Geomorphology).

PENTEADO, Margarida Maria. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3º edição, 2º tiragem. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PEULVAST, J-P.; BÉTARD, F. **A history of basin inversion, scarp evolution and shallow denudation: the Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil**. *Geomorphology*, v. 233, p. 20-40, 2015.

PILÓ, L. B. Geomorfologia cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, p. 88-102, 2000.

PEULVAST, J-P; CLAUDINO-SALES, V. Mapa morfoestrutural do Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande do Norte e da Paraíba. In: Brasil. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará**. Mapa na escala 1:500.000. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil, 2003.

PILÓ, Luís Beethoven. **Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal macacos-baú - carste de Lagoa Santa, MG**. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

Schobbenhaus, C. (Coord.). (1975). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha Goiás (SD 22)** (texto explicativo). Brasília: DNPM. 114p.

RADAMBRASIL. **Folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal: Geologia e mapeamento geológico, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. 774 p. (Levantamento de recursos naturais, 23).

TALIM, Helbert Luiz Coutinho; Bueno, Guilherme Taitson. **Análise das feições cársticas desenvolvidas no maciço das agulhas negras**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.15, n.3 São Paulo, (Jul-Set) p.327-338, 2014.

TARDY, Y.; MELFI, A. J.; VALETON, I. Climats et paléoclimats tropicaux périatlantiques. Rôle des facteurs climatiques et thermodynamiques: température et activité de l'eau, sur la répartition et la composition minéralogiques des bauxites et des cuirasses ferrugineuses, au Brésil et en Afrique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Série 2, v. 306, n. 4, p. 289-295, 1988.

TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; ROQUIN, C.; PAQUET, H. Influence of periatlantic climates and paleoclimates on the distribution and mineralogical composition of bauxites and ferricretes. In: II Internacional Symposium, Geochemistry of the Earth's Surface and of Mineral Formation, 1990, France. **Proceedings...**, France: Aix en Provence, 1990. p. 179-182.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. **A importância cultural do carste e das cavernas**. 2010. 372p. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

TRAVASSOS, et al. **Áreas cársticas, cavernas e a Estrada Real**. Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas, 1(2) Campinas – SP: SeTur/SBE, 2008.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. **Contribuições científicas do professor Dr. Heinz Charles Kohler para a Geomorfologia Cárstica tropical brasileira**. Uberlândia: Sociedade e Natureza, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/sn/v22n3/16.pdf>> Acesso em: 18 Ago. 2022.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. **Princípios da Carstologia e Geomorfologia Cárstica**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – Brasília: 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, 2015. 65 p. (ISBN 978-85-8239-032-0).

TRICART, Jean. **O karst das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte**. N° 4. Belo Horizonte: Revista brasileira de Geografia, 1956.

TRICART, J.; CARDOSO DA SILVA, T. Um exemplo de evolução karstica em meio tropical seco: o morro de Bom Jesus da Lapa (Bahia). **Boletim Baiano de Geografia**, Salvador, n. 5/6, p. 3-19, 1961.

VASCONCELOS, P. M.; BRIMHALL, G. H.; BECKER, T. A.; RENNE, P. R. 40Ar/39Ar analysis of supergene jarosite and alunite: implications to the paleoweathering history of the western USA and West Africa. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 58, n. 1, p. 401-420, 1994.

VASCONCELOS, A. M.; PRADO, F. S.; GOMES, F. E. M. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Folha Iguatu, SB.24-Y-B**. Carta Geológica, Escala 1:250.000, Anexo II. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 1997.

VITTE, Antônio Carlos. **A construção da geomorfologia no Brasil**. V. 12, n. 3. Revista Brasileira de Geomorfologia, p. 91-108, 2011.

VITTE, Antônio Carlos. **O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na Geografia Física - mercator**. Vol. 6, núm. 11. Revista de Geografia da UFC, p. 71-78, 2007.

WANG, X.; AULER, A. S.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; CRISTALLI, P. S.; SMART, P. L.;

RICHARDS, D. A.; SHEN, C. C. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v. 432, p. 740-743, 2004.

WHITE, W.B. Speleothems: General Overview. In: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Ed.). **Encyclopedia of Caves**. London: Elsevier Academic Press, 2012. p. 777-786.

APÊNDICE A — FICHA TÉCNICA DE CAMPO

I — FICHA TÉCNICA			
Trabalho realizado por: Carlos Renir Soares de Araújo			
Perfil ou ponto de observação (nº) 1, 2, 3	Perfil ou ponto de observação (nº) 4, 5, 6	Perfil ou ponto de observação (nº) 7 e 8	
Data: 18/07/2022	Data: 19/07/2022	Data: 22/07/2022	
Início: 08:35 hrs	Início: 07:40 hrs	Início: 07:50 hrs	
Término: 16:25 hrs	Término: 15:30 hrs	Término: 14:10 hrs	

II — SITUAÇÃO			
Localização	Altaneira	Farias Brito	
Coordenadas	Latitude 6°58'34.76"S; Longitude 39°38'59.68"O.	Latitude 6°58'34.76"S; Longitude 39°38'59.68"O.	
Condições de acesso:	Estrada carroçal	Estrada carroçal	
Altitude	430 metros, em média.	430 metros, em média.	
Direção do perfil	NE - SO	NE - SO	
Características topográficas	Alinhamento de cristas residuais-Serras e serrotes, com vertentes íngremes.	Alinhamento de cristas residuais-Serras e serrotes, com vertentes íngremes.	
Compartimentação do relevo	Depressão sertaneja II	Depressão sertaneja II	
Uso atual	Agricultura, Extração de Cal	Agricultura, Pecuária	
Observações			

III — UNIDADE GEOAMBIENTAL			
Região natural	Caatinga		

Geocomplexo	Depressão sertaneja		
Geofácies	Depressão sertaneja II		
Geótopo	Serra do Quincuncá		

IV — GEOLOGIA

Unidade lito-estratigráfica	Maciço do Quincuncá		
Observações	Apesar de fazer parte da unidade, a região não se encontra na serra do Quincuncá, e sim, em seu entorno.		

V — CLIMATOLOGIA

1. Clima (tipo)	Semiárido		
2. Subtipo Climático	Semiárido Brando — 6 meses secos		
3. Temperatura média	27° Celsius		
4. Pluviosidade	870 mm		

BANCO DE DADOS (V)

V-2

A. Superúmido — sem seca	E. Semiárido Brando — 6 meses secos
B. Úmido forte — 1 a 2 meses secos	F. Semiárido Moderado — 7 a 8 meses secos
C. Úmido moderado — 3 meses secos	G. Semiárido Forte — 9 a 10 meses secos
D. Semiúmido — 4 a 5 meses secos	

VI — GEOMORFOLOGIA

1. Formas de vertentes	Irrregular		
2. Classes de declividade	20 — 45% Rel. Forte-ondulado		

3. Pediplanos e pedimentos	Parcialmente Dissecado		
4. Feições de dissecção	Serrote - Colina		
5. Feições residuais	Crista Assimétrica		
6. Feições de dissolução	Lapiás – Alvéolos Campos de lapiás - cavernas – condutos – Bacias de dissolução		
BANCO DE DADOS (VI)			
VI-1	VI-2	VI-3	VI-4
A. Côncava	A. 0 — 3% Relevo Plano	A. Conservado	A. Lombada
B. Convexa	B. 3 — 8% Rel. Suave-ondulado		B. Colina
C. Retilínea	C. 8 — 20% Rel. Ondulado		C. Morro
D. Côncavo-Convexo	C. 8 — 20% Rel. Ondulado	B. Parcialmente Dissecado	D. Esporão
E. Convexo-Côncavo	D. 20 — 45% Rel. Forte-ondulado		E. Tabuleiro
F. Irregular	E. 45 — 75% Rel. Montanhoso	C. Dissecado	F. Meseta
G. Patamar	F. > 75% Rel. Escarpado		G. Morro Testemunho
H. Cornija			
I. Plano-inclinado			

VII — HIDROLOGIA

1. Nome do rio	São Romão		
2. Ponto do curso	Médio curso		
3. Bacia hidrográfica	Alto Jaguaribe		
4. Largura do vale	50 — 250m		
5. Profundidade do vale	25 — 50m		

6. Material das bordas	Aluvial			
7. Regime fluvial	Semi-perene			
8. Canal fluvial	Meandro			
9. Formas de vale	Moderadamente encaixado			
10. Padrão de drenagem	Treliza			
BANCO DE DADOS (VII)				
VII- 2	VII- 4	VII- 5	VII- 6	VII- 7
A. Alto curso	A. < 10m	A. < 10m	A. Aluvial	A. Perene
B.	B. 10 — 50m	B. 10 — 25m	B. Coluvial	B. Semi-perene
C. Baixo curso	C. 50 — 250m	C. 25 — 50m	C. Eluvial	C. Intermitente
	D. 250 — 1000m	D. 50 — 100m	D. Rochoso	D. Esporádico
	E. > 1000m	E. > 100m		
VII- 8	VII- 9		VII- 10	
A. Talvegue Simples	A. Em U		A. Dendrídico	
B. Talvegue Múltiplo	B. Em V		B. Treliza	
C. Meandro	C. Em berço		C. Retangular	
D. Anastomótico	D. Manjedoura		D. Radial	
E. Leito Móvel	E. Bem encaixado		E. Dendrídico-Retangular	
F. Leito rochoso	F. Moderadamente encaixado		F. Paralelo	
	G. Mal encaixado		G. Pinado	
			H. Anastomótico	
			I. Anelar	

VIII — PROCESSOS MORFO-DINÂMICOS				
1. Intemperismo	Corrosão (química e biológica)			
2. Ações pluviais	Sulco de erosão			
3. Movimentos de massa	Solapamento			
4. Ações fluviais	Ação Hidráulica			
BANCO DE DADOS (VIII)				
VIII -1	VIII -2	VIII -3	VIII -4	

A. Degradação Glanular	A. Escoamento Difuso	A. Reptação	A. Ação Hidráulica
B. Termoclastia	B. Canelura	B. Solifluxão	B. Corrosão
C. Corrosão	C. Sulco de erosão	C. Solapamento	C. Corrasão
D. Descamação	D. Ravina	D. Corridas de lama	D. Atrição
E. Dissolução	E. Voçoroca	E. Deslizamento	E. Transporte
	F. Torrente	F. Queda de blocos	F. Acumulação

IX — FORMAÇÕES SUPERFICIAIS E PROCESSOS PEDOGENÉTICOS			
1. Natureza do material	Aluvial		
2. Espessura	0 — 1m		
3. Característica do material	Argilosa		
4. Composição			
5. Permeabilidade			
6. Proc. Pedogenético	Podzolização — Horizonte com boa drenagem; horizonte superficiais arenosos e concentração de argila no horizonte B (textural).		
7. Erosão em sulcos	Frequentes		
8. Erosão laminar	Ligeira — menos de 25% do horizonte A		
BANCO DE DADOS (IX)			
<i>IX-1</i>	<i>IX — 2</i>	<i>IX — 3</i>	
A. Eluvial	A. 0 — 1m	A. Arenosa	
B. Coluvial	B. 1 — 2m	B. Argilosa	
C. Aluvial	C. 2 — 5m		
IX-6			
A. Latolização — Intemperismo intenso; oxidação difundida na massa; transições graduais e difusas entre os horizontes; perfis profundos.			

B. Podzolização — Horizonte com boa drenagem; horizontes superficiais arenosos e concentração de argila no horizonte B (textural).	
C. Gleização — Deficiência de drenagem; ocorre em zonas de baixadas úmidas; cores cinzas com manchas variadas em função do hidromorfismo motivado por oscilação do lençol freático.	
D. Calcificação — Áreas planas onde a drenagem é deficiente; acumulação de carbonato de cálcio nos horizontes B e C formando concreções.	
E. Solodização — Solos alcalinos relacionados a clima secos ou que tenham estações muito contrastantes; acumulação de sódio nos horizontes inferiores que tem estruturas prismáticas.	
<i>IX-</i> <i>7</i>	<i>IX-</i> <i>8</i>
F.A. Ocasionais	A. Não aparente
F.B. Frequentes	B. Ligeira — menos de 25% do horizonte A
F.C. Muito Frequentes	C. Moderada — de 25% a 75% do horizonte A
P.A. Superficiais	D. Forte — > 75% do horizonte A
P.B. Rasos	E. Muito Forte — Horizonte B já atingido com freq. de sulcos-voçorocas
P.C. Profundos	F. Extremamente forte — Horizonte C afetado

X — COBERTURA VEGETAL			
1. Aspectos fisionômicos e florísticos	Caatinga Hiperxerófila		
2. Estado de conservação	Moderadamente degradada		
3. Estrato Predominante	Arbóreo (> 7 m)		
4. Espécies predominantes	Marmeleiro	Sabiá	
BANCO DE DADOS (X)			
<i>X-</i> <i>1</i>	<i>X-</i> <i>2</i>	<i>X-</i> <i>3</i>	

A. Caatinga Hiperxerófila	A. Altamente degradada	A. Arbóreo (> 7 m)
B. Caatinga Hipoxerófila (de altitude)		
C. Mata Plúvio-nebular Subperenifólia (de altitude)		

D. Cerrado	B. Moderadamente degradada	B. Arbustivo-arbóreo (4-7 m)
E. Cerradão		
F. Vegetação Restinga		
G. Mata Ciliar (Carnaúba, Oiticica, Carai-beira, Jucá, Mororó etc.)	C. Pouco degradada (sucessão avançada)	C. Arbustivo (1-4 m)
H. Formações de Praias e Dunas		
I. Manguezais		
J. Formações Rupestres	D. Vegetação primária	D. Herbáceo (< 1 m)
K. Outros (exóticas, invasoras)		
XII — DINÂMICA DA PAISAGEM		
1. Dinâmica Espacial	Paisagem Abiótica — Todos os subsistemas estão subordinados ao abiótico, ou seja, aos elementos não vivos da paisagem	
2. Dinâmica Temporal	Período Pré-Industrial — Na paisagem há desenvolvimento de sistemas agrícolas capazes de se produzir um excedente, que pode ser utilizado em trocas e vendas comerciais. O sistema socioeconômico tem seu início e o homem já produz profundas modificações na paisagem, criando setores de produção, aglomerações populacionais de	

	porte considerável e uma arcaica rede de comunicações.		
BANCO DE DADOS (XII)			
<i>XII-1</i>			
A. Paisagem Natural — O geossistema se apresenta intocado, ou seja, o subsistema socioeconômico inexistente, havendo o predomínio dos subsistemas biótico e abiótico.			
B. Paisagem Equilibrada — Os três subsistemas básicos se apresentam em equilíbrio, tendo, portanto, uma importância semelhante na dinâmica da paisagem.			
C. Paisagem Abiótica — Todos os subsistemas estão subordinados ao abiótico, ou seja, aos elementos não vivos da paisagem			
D. Paisagem Biótica — Há o predomínio do subsistema biótico, ou ecossistema, sobre os demais da paisagem.			
E. Paisagem Antrópica — Há a supremacia total do subsistema socioeconômico. Toda a fauna e flora nativas foram eliminadas, além do relevo e dos canais fluviais terem sido alterados por grandes obras de engenharia.			
<i>XII — 2</i>			
A. Período de Coleta — A paisagem apresenta pouco ocupada, sendo esta ocupação recente. A ação do homem praticamente não é capaz de modificar a estruturação da paisagem e ocupa dimensões reduzidas do território, sendo a caça, pesca e coleta de alimentos as atividades antrópicas mais pronunciadas.			
B. Período Pré-Industrial — Na paisagem há desenvolvimento de sistemas agrícolas capazes de se produzir um excedente, que pode ser utilizado em trocas e vendas comerciais. O subsistema socioeconômico tem seu início e o homem já produz profundas modificações na paisagem, criando setores de produção, aglomerações populacionais de porte considerável e uma arcaica rede de comunicações.			

C. Período Atual — Paisagem com crescimento urbano-industrial desenfreado e há assimilação do espaço rural pelo agronegócio. O homem provoca profundas e calamitosas alterações na paisagem, promovendo sérios danos aos subsistemas biótico e abiótico, muitas vezes os suplantando totalmente. O subsistema socioeconômico evolui com muita

XIII — PROBLEMAS AMBIENTAIS			
Desmatamento desordenado	Possui áreas com índice de desmatamento elevado		
Tecnologia agrícola rudimentar	Está presente em toda a agricultura da região		

Degradação da biodiversidade	Há impactos negativos sobre tipos vegetacionais típicos da região.		
Coleta e disposição do lixo pouco adequadas	Possui deficiências na coleta de lixo.		
Turismo predatório	O turismo local não impacta no ecossistema local.		
Erosão dos solos	Apresenta zonas com forte presença de erosão, principalmente nas vertentes que compõem as cristas.		
Queimadas	Ocorrem com frequência, principalmente, por ação dos agricultores.		
Cultivos em vertentes íngremes	Em quase todas as vertentes foram registrados sinais de atividades agrícolas.		
Degradação das nascentes fluviais	Há um impacto significativo na área de nascente do córrego que corta o vale, estando impactado pelo desmate de sua circunvizinhança.		
Torrencialidades do escoamento superficial	Foi observada pouca ação energética do escoamento superficial na área, motivada principalmente, pelo barramento da vegetação na maioria das vertentes.		

Ressecamento de fontes e olhos d'água	A única fonte de água do local, sofreu com os períodos de estiagem de anos anteriores, entretanto, apresenta uma vazão considerável.		
Represamento e desvios de água	Não há ação de represamento no local.		

