

Marmitas do rio Potengi, Barcelona, Rio Grande do Norte: evolução e proposta de classificação

Silas Samuel dos Santos COSTA¹, João Correia SARAIVA JUNIOR²,
Yago Fernandes Lutz de Castro PINTO³ & Marcos Antonio Leite do NASCIMENTO⁴

¹ Bacharelado em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Av. Senador Salgado Filho, 3000, CEP 59.078-970, Lagoa Nova, Natal, RN, Brasil (silas.costa.105@ufrn.edu.br).

² Diretoria Acadêmica de Ciências, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central. Av. Senador Salgado Filho, 1559, CEP 59.015-000, Tirol, Natal, RN, Brasil (jjjunior2@gmail.com).

³ Curso Técnico em Geologia, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central. Av. Senador Salgado Filho, 1559, CEP 59.015-000, Tirol, Natal, RN, Brasil (yagolutz7@gmail.com).

⁴ Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Av. Senador Salgado Filho, 3000, CEP 59.078-970, Lagoa Nova, Natal, RN, Brasil (marcos.leite@ufrn.br).

Resumo. No município de Barcelona, Agreste Potiguar, Nordeste do Brasil, o curso médio do rio Potengi perpassa os leitos rochosos de rochas pré-cambrianas, esculpindo diferentes microformas, dentre elas estão as marmitas com dimensões e geometrias distintas. Objetiva-se caracterizar as marmitas conforme seus estágios evolutivos e relações de padrões geométricos e apresentar uma classificação para essas microformas. A elaboração do trabalho contou com reunião da bibliografia sobre as marmitas no clima semiárido; esquematização dos parâmetros utilizados na classificação das microformas; e por fim, etapas de campo, sendo feitas medições de atitudes e dimensões dos eixos das marmitas, bem como das estruturas de fabric e fraturas do Plúton Granítico Barcelona (PGB) e litologias associadas. Posteriormente, os dados de campo foram usados para elaborar modelos de classificação com base no range das razões de eixos das marmitas, sendo propostas quatro tipologias: circular, subcircular, elíptica e multiforme. Ademais, podendo ser classificada com base na relação da sua disposição no substrato, em basal ou lateral. Inferiu-se uma afiliação entre geometria e fase de desenvolvimento, em menor dimensão tende a ser circular e mais desenvolvida passa a ser elíptica ou multiforme. As marmitas são partes essenciais na evolução geomorfológica fluvial de leito rochoso, também são formas importantes para o geossistema. Foi averiguado que, dos fatores controladores da evolução das marmitas, há uma preferência de crescimento coerente com as estruturas do PGB.

Palavras-chave. Rio Potengi, leito rochoso, microformas graníticas, classificação das marmitas, fatores morfogenéticos.

Abstract. POTHOLES OF POTENGI RIVER, BARCELONA, RIO GRANDE DO NORTE: EVOLUTION AND CLASSIFICATION PROPOSAL. In the municipality of Barcelona, Agreste Potiguar, Northeastern Brazil, the middle course of the Potengi river flows through the rocky beds of Precambrian, sculpting different microforms, among them are potholes with different dimensions and geometries. The objective is to characterize the potholes according to their evolutionary stages and geometric patterns relations, and propose a classification for these microforms. The preparation this paper included the bibliography revision about potholes in the semi-arid climate context; diagramming of the parameters used in the microforms classification; and finally, field stages, with measurements of attitudes and dimensions of the potholes axes, as well as Barcelona Granitic Pluton (BGP) and associated lithologies fabric structures and fractures. Subsequently, the field data were used to develop classification models based on the potholes range of axle ratios, with four types being proposed: circular, subcircular, elliptical and multiform. In addition, it can be classified based on the relationship of its disposition in the substrate, in basal or lateral. An affiliation between geometry and the development phase was inferred, in a smaller dimension it tends to be circular and more developed, it becomes elliptical or multiform. Potholes are essential elements in the fluvial geomorphological evolution of rocky beds, they are also important to geosystem. It was verified that, of the controlling factors of the potholes evolution, there is a growth preference coherent with the BGP structures.

Keywords. Potengi River, rocky bed, granitic microforms, classification of lunchboxes, morphogenetic factors.

1 Introdução

O semiárido nordestino é diversificado em feições morfológicas. Embora a Depressão Sertaneja seja a unidade geomorfológica mais extensa (Ab'Saber, 2003), ao ser aplicada cartografia de detalhe, obtêm-se dados acerca da evolução regional e identificação de formas do relevo, bem como de microformas resultantes de ciclos de aplainamento e de processos denudacionais conduzidas por climas secos ao longo do Cenozoico (Costa *et al.*, 2020).

Inselbergs, *lajedos* e *marmitas* são algumas das formas que integram o relevo do semiárido nordestino. Destas, destacam-se as *marmitas* como produtos da ação fluvial sobre leitos rochosos, eventualmente em áreas mais úmidas sazonalmente. Alguns trabalhos já destacaram a ocorrência destas cavidades no Nordeste.

Alguns trabalhos já destacaram a ocorrência destas cavidades no Nordeste. Medeiros (2003) identificou sítios arqueológicos em municípios potiguares, dentre os quais o município de Carnaúba dos Dantas com expressivas *marmitas* distribuídas ao longo do leito do rio Carnaúba. Silva *et al.* (2017) caracterizaram as *marmitas* e tanques naturais no estado de Pernambuco. Segundo os autores, em municípios pernambucanos são registradas presença de *marmitas*. No entanto, pouco se sabe sobre sua gênese e evolução. Waldherr *et al.* (2017) discutiram a origem e morfologia de tanques naturais no Nordeste brasileiro, apresentando exemplos nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e a parte norte do estado da Bahia.

No Rio Grande do Norte, os municípios de Lajes, Carnaúba dos Dantas e Barcelona apresentam essas microformas como destaque na paisagem geomorfológica fluvial, sendo, porém, pouco destacadas na literatura geomorfológica local. O quadro evolutivo dos relevos do Nordeste brasileiro apresenta diversas evidências da paleogeografia, a exemplo disso os trabalhos de Santos (2001) e Santos *et al.* (2002) registraram nas *marmitas* e em tanques naturais de Barcelona artefatos paleoecológicos pleistocênicos, essas evidências materializadas

em fósseis de *Gomphoteriidae* e *Megatheriidae*. Assim, podemos indagar: como ocorreu a evolução das *marmitas* no curso médio do rio Potengi no município de Barcelona no Rio Grande do Norte? Quais as principais características dessas formas? Tais áreas de ocorrência apresentam potencial para estudos da geodiversidade?

Nesse sentido, este trabalho se propõe a caracterizar as morfoesculturas fluviais denominadas *marmitas*, *panelas* ou *caldeirões*, ou ainda, na literatura internacional "*potholes*" e menos usualmente em alguns trabalhos "*weathering pits*" e "*gnammas*" como em Fahey (1986), nomenclaturas que, comumente, são dadas a microformas não-fluviais.

No rio Potengi, as *marmitas* são modeladas ao longo do Plúton Granítico Barcelona (PGB) e nas rochas metamórficas encaixantes, no município de Barcelona, Rio Grande do Norte, sendo importantes para compreensão da evolução geomorfológica da paisagem. Segundo Waldherr *et al.* (2017), *marmitas* ou *caldeirões*, são assim denominadas no também Nordeste brasileiro por serem perfurações semelhantes a um cilindro quanto à disposição em profundidade, com forma variada em planta. São sempre associadas ao trabalho de evorsão em leito de rios. Ainda conforme Waldherr *et al.* (2017) é importante diferenciar as *marmitas* de feições morfológicas maiores denominadas de tanques naturais, que são cavidades que se diferenciam das *marmitas* pelo tamanho e pelos processos morfogenéticos e morfodinâmicos.

Para esboçar uma caracterização das microformas, também foi necessário descrever alguns elementos da paisagem de Barcelona/RN, de modo a subsidiar a identificação das etapas da evolução e a classificação das morfoesculturas fluviais do setor de estudo.

2 Área, materiais e métodos

A área de estudo (Fig. 1) está localizada no município de Barcelona, porção centro sul do Rio Grande do Norte, mesorregião Agreste potiguar e dista 103 km de Natal, capital potiguar. O acesso ocorre pela BR-226 e BR-304 e ainda RN-203. O rio Potengi é um dos principais rios do estado,

e a própria toponímia potiguar está relacionada à presença desse rio sobre o qual, em suas margens, foi originada a cidade de Natal. As ocorrências das marmitas estão atreladas a afloramentos graníticos a jusante da barragem Boqueirão e nas encostas das serras da Arara e do Boqueirão.

A escolha dessa área ocorreu em função da necessidade de compreensão da evolução da paisagem regional e divulgação do potencial da geodiversidade local. Na área de ocorrência das marmitas existem além das rochas graníticas, diques de diabásio, dobras, falhas e fraturas as quais podem funcionar como salas de aula para estudantes e outras pessoas interessadas. A metodologia é baseada em revisão da literatura, trabalhos de campo e interpretação dos dados coletados. Espera-se contribuir com informações que colaborem com o entendimento da paisagem e a divulgação da geodiversidade potiguar.

A construção deste trabalho foi realizada tomando como fase inicial a reunião de materiais

que discutissem o tema e características da área de estudo. Acerca do tema foram encontrados trabalhos feitos em alguns estados do Nordeste brasileiro e outros países em artigos, teses e dissertações. Essa fase também contou com a obtenção de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e sua análise hipsométrica, extraindo os limites da bacia hidrográfica do rio Potengi e produzindo Modelo Digital de Elevação (MDE), para assim estudar as contribuições morfodinâmicas do relevo na evolução das microformas fluviais.

Para levantamento de dados sobre a área de estudo foram realizadas revisões de dados em textos científicos e trabalhos de campo para compreensão das características naturais. Foram realizadas diversas etapas de campo, de reconhecimento geológico e para identificação e medição das marmitas, com utilização do receptor de GPS, bússola, trena, equipamento para registro fotográfico e caderneta para registro das características das marmitas.

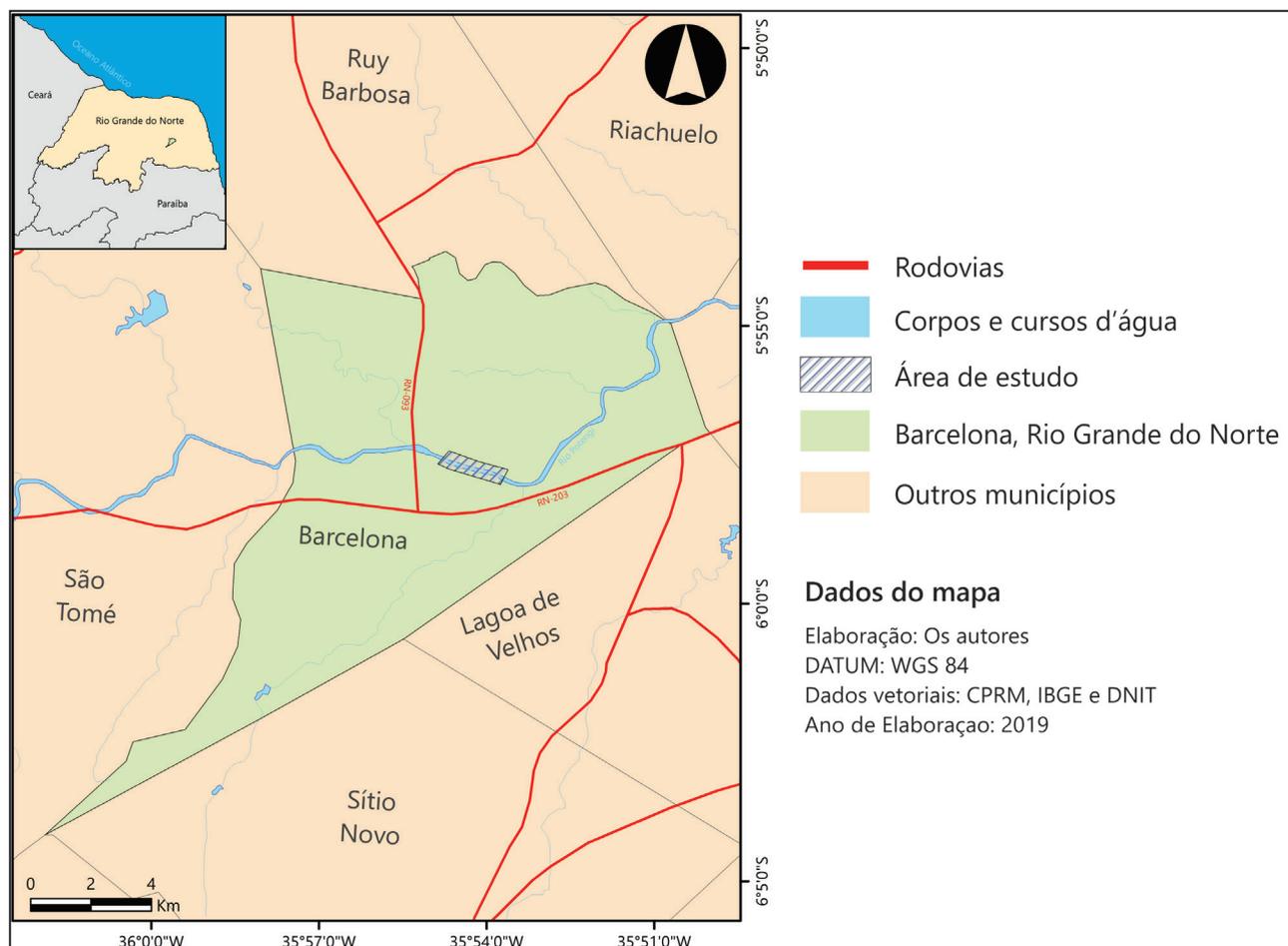


Figura 1. Localização da área das marmitas estudada, rio Potengi, Barcelona, Rio Grande do Norte.
Figure 1. Potholes studied area location, Potengi river, Barcelona, Rio Grande do Norte.

As marmitas foram medidas com trenas e réguas e, em seguida, a partir da medição dos maiores eixos de comprimentos das microformas era obtida a atitude direcional em azimute, esses dados posteriormente deram origem a banco de dados de suporte para etapas metodológicas subsequentes.

Das oito áreas diferentes observadas no trecho de estudo foi possível construir padrões conforme o comportamento geométrico das marmitas ou ainda estabelecer um padrão quanto a posição que foi originada a microforma. Outra forma de tipificar as marmitas foi quanto a direção do maior eixo de comprimento. Para o estabelecimento desses parâmetros de classificação foi adaptada a metodologia de Alexadrowicz (1989) em selecionar padrões de ocorrências de marmitas, a obtenção do *range* do comprimento das morfologias pela razão maior-maior eixo ortogonal ao maior (a/b) para associar dos comprimentos com a geometria conforme adaptações de Hall & Phillips (2006) e Dhali (2019).

Para a compreensão sobre a evolução das marmitas foram utilizadas as informações morfológicas associadas a alguns dados estruturais que puderam ser representados em diagramas de rosetas, e assim como propuseram Ortega *et al.* (2014) ao comparar o crescimento dos caldeirões com as mais diferentes escalas de estruturas nos embasamentos graníticos, aqui neste estudo foram feitas algumas simplificações nos dados para inferir as influências estruturais.

3 Resultados e discussões

3.1 Caracterização geoambiental

O clima de Barcelona apresenta totais pluviométricos anuais em torno de 500-600 mm configurando o clima semiárido brando com 6 meses secos. Segundo o climograma de São Paulo do Potengi (estação meteorológica mais próxima) o verão e outono austral concentram as maiores precipitações pluviais. No inverno, a pluviosidade tende a diminuir e a primavera é a estação mais seca quando começa a ficar mais úmida no início do verão (Diniz & Pereira, 2015).

Segundo Diniz & Pereira (2015), no alto

curso da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi (BHRP), especificamente no município de Cerro Corá, o total pluviométrico anual está em torno de 500 mm, sendo o setor de menor pluviosidade no Rio Grande do Norte. Avançando em direção ao curso médio da BHRP, há aumento do total de chuvas que pode alcançar até 800 mm anuais e finalmente o baixo curso apresenta as isoietas de valores mais altos que superam 1.100 mm.

O setor de estudo está localizado no curso médio da BHRP, como é possível visualizar na figura 2, e, de acordo com trabalho publicado por Santos *et al.* (2013) que analisaram a produção de sedimentos na BHRP, há maior produção de sedimentos no curso alto, com diminuição do aporte sedimentar no curso médio. A elevada declividade associada à diminuição da cobertura vegetal em período de estiagem são fatores de grande influência na suscetibilidade a erosão hídrica a montante do setor de estudo das marmitas.

As temperaturas oscilam entre 22°C e 34°C, com elevada amplitude térmica no decorrer do ano. Durante o dia, as altas temperaturas exercem sua influência no desgaste da superfície rochosa. Muitos trechos do setor de estudo não apresentam cobertura pedológica com afloramentos rochosos de extensão variada facilitando a dilatação. Durante a noite, o resfriamento contrai a rocha conduzindo a uma fragilização. Migoñ (2006) sugere inclusive que essas passagens diurnas abruptas de temperatura, o estresse térmico, são importantes na ação termoclástica e desgaste dos lajedos submetidos ao efeito.

A Depressão Sertaneja é a unidade geomorfológica mais extensa em Barcelona com ocorrência de cristas, pontões, *inselbergs* e pequenas planícies fluviais que completam o setor de estudo (Fig. 2). A influência do clima sobre as rochas cristalinas em Barcelona modela formas de relevo *inselbergs*, lajedos e tafonias. Em menores proporções, depósitos sedimentares quaternários sustentam as planícies fluviais.

Os canais fluviais integram a hierarquia da bacia do rio Potengi. As cabeceiras de drenagem ou curso alto do rio Potengi localizam-se na Serra de Santana, alto estrutural localizado no município de Cerro Corá que dista 50 km a

montante do setor de estudo.

As marmitas do curso médio do rio Potengi encontram-se na intersecção do leito fluvial com um segmento de um conjunto de alinhamentos de serras e *inselbergs*, a serra que está na margem norte do rio Potengi é conhecida como Serra da Arara e está alinhada com a Serra da Fé ou “Pedra da Fé” numa direção NNE-SSW, estando disposta então ortogonalmente à direção do fluxo do rio (ESSE-WNW), ambas as direções aparentam ser as principais direções de fraturas, deflexões e controles estruturais das drenagens dendríticas e retilíneas. As serras na margem do Potengi, também colaboram em termos de fluxos de drenagem de água e sedimentos para o leito em precipitações localizadas no ponto.

Os solos resultam da interação entre os

processos externos e rochas existentes na área. A classe de solo predominante em Barcelona é o Planossolo Solódico. Outras classes de solos como Neossolo Litólico e Gleissolo integram o conjunto de perfis pedogenéticos. A associação entre solos, clima e relevo influencia a manutenção da caatinga hiperxerófila. Espécies como a catingueira, angico, juazeiro, braúna, marmeleiro, mandacaru, umbuzeiro, aroeira e cactáceas de diversos tipos (coroa de frade, palma, facheiro) estão presentes no curso fluvial e muitas delas aproveitam o substrato proporcionado pelas marmitas, colonizando-as. Várias espécies vegetais perdem a folhagem durante o período de estiagem facilitando os processos intempéricos e erosivos, pela diminuição da cobertura vegetal e maior exposição do solo (CPRM, 2005).

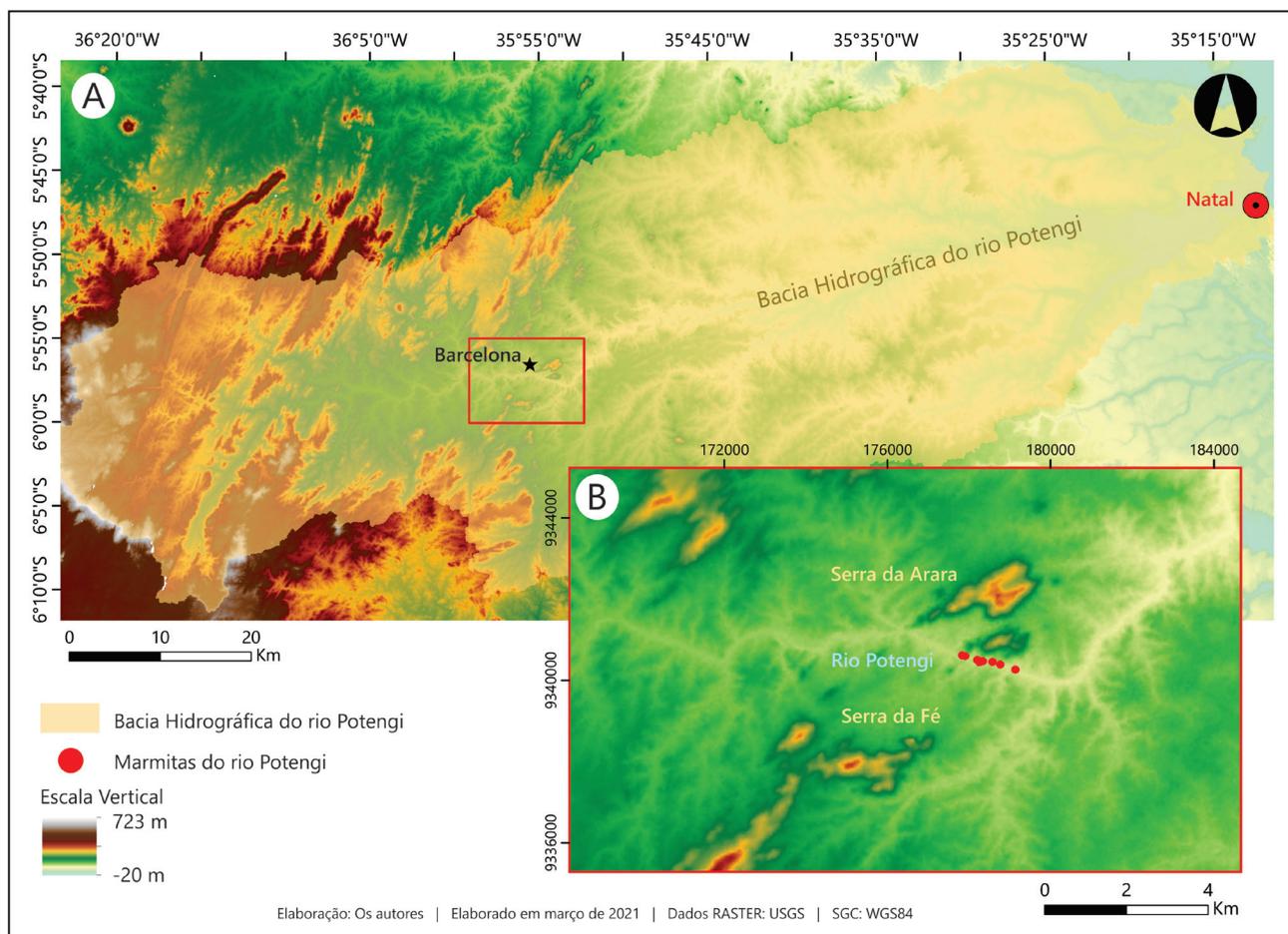


Figura 2. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Potengi e contexto do relevo da área das marmitas estudadas. A) Modelo Digital de Elevação da BHRP; B) Destaque para área estudada, mostrando as marmitas inseridas no curso médio do rio Potengi entre maciços residuais

Figure 2. Hypsometric Map of Potengi river hydrographic basin and relief context of studied potholes area. A) BHRPs' Digital Elevation Model; B) Emphasis to studied area, showing the potholes inserted in Potengi river middle course between residual massifs.

A área de estudo (Fig. 3) foi setorizada de acordo com a ocorrência de marmitas no canal fluvial, sendo nos cinco primeiros pontos marmitas encontradas associadas às rochas metamórficas encaixantes do PGB e, principalmente, as bordas graníticas deformadas ductilmente por cisalhamento com as encaixantes, além dos demais três pontos em afloramentos graníticos não a pouco deformados do PGB, registra-se ainda a presença de diques de diabásio, que são os prováveis indicadores dos direcionamentos E-W e ESE-WNW do fluxo do rio Potengi e fraturas associadas ligados ao processo de rifteamento cretáceo do Gondwana (Hollanda *et al.*, 2019).

O primeiro ponto mais a leste está inserido numa porção do rio que está associada à zona de contato do PGB com os ortognaisses da unidade paleoproterozoica do Complexo Santa Cruz, subdomínio São José do Campestre (núcleo Arqueano), conforme definido em Dantas

(1997). Apesar da ausência de afloramentos expressivos para visualizar as estruturas da rocha encaixante, haviam nesse ponto, próximo ao contato das unidades, partes em superfícies da rocha granítica deformada, com planos mergulhantes para NW e *dip* de 40° a 50° (Fig. 4A e 4B).

Observou-se que o entorno do primeiro ponto é uma área de abatimento topográfico em relação ao compartimento do rio a montante envolto de serras e *canyons* esculpidos no granito, mais resistente às ações erosivas superficiais. Nessa área foi verificado o aumento na largura do canal e maior dispersão de sedimentos (Fig. 4A). Do segundo ao quinto ponto, assim como o primeiro, apresentavam a característica marcante de deformações na rocha granítica, com enclaves e cristais de K-feldspato estirados e planos de foliação em estado sólido com mergulhos médios a altos.

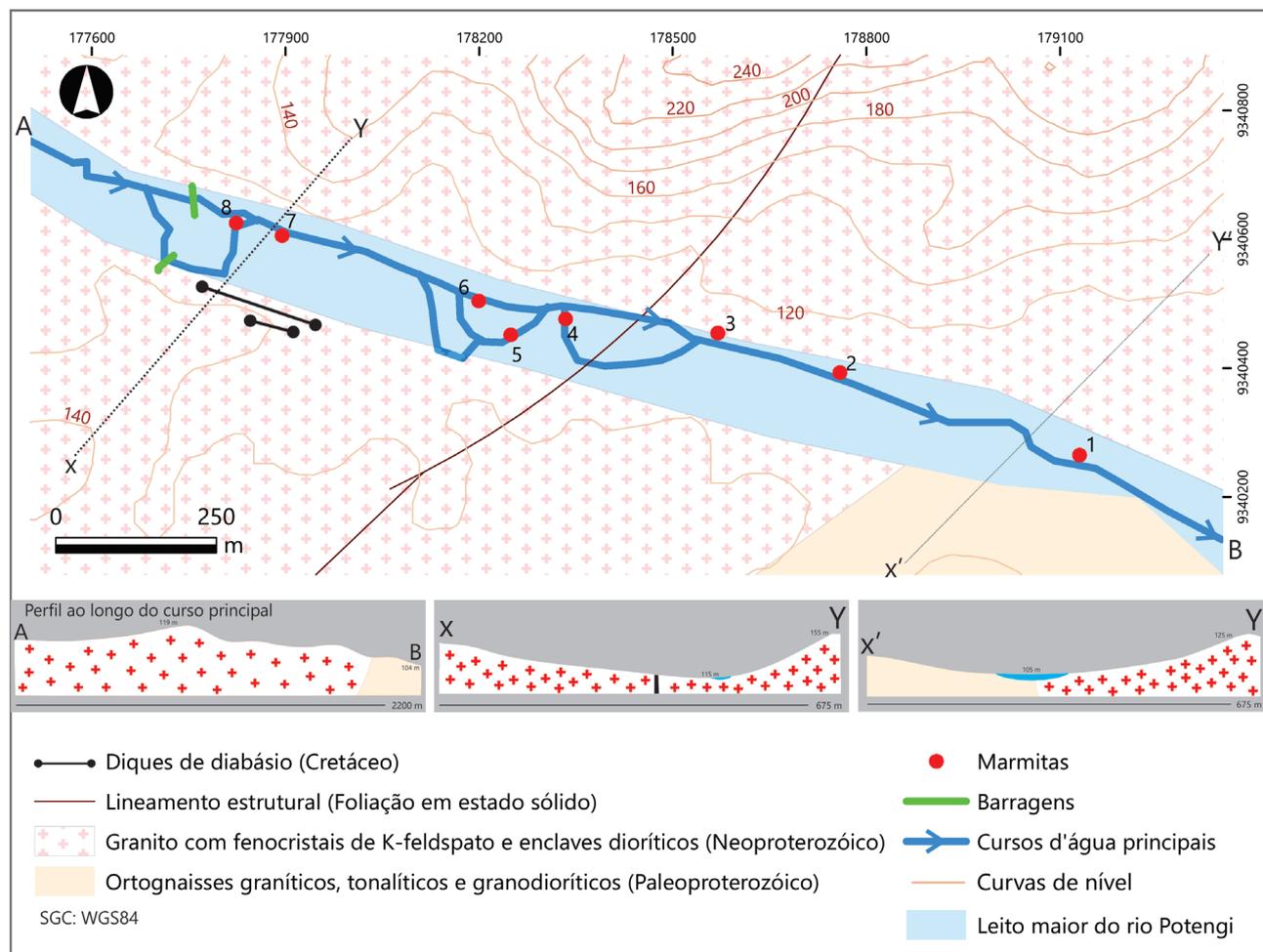


Figura 3. Mapa do contexto geológico simplificado dos locais estudados com ocorrências de marmitas e perfis esquemáticos (adaptado de Angelim, 2006).

Figure 3. Map of simplified geologic context of studied points with potholes occurrences and schematic profiles (adapted from Angelim, 2006).

Os demais pontos, de seis a oito, estão situados em zonas pouco deformadas do PGB, este que foi intrudido na forma de batólito no Neoproterozoico durante o ciclo Brasiliano, sendo descrito petrológica e estruturalmente em Cavalcante (2015), com destaque para diferentes fácies petrográficas do corpo granítico também presentes na área de estudo: fácies granito porfirítico, fácies microgranito e fácies intermediária a máfica. Essa última fácies é a que compõe os enclaves e a segunda citada os diques e as venulações.

Também são importantes para a contextualização e interpretação evolutiva das marmitas, estruturas na porção interna do PGB observadas por Cavalcante (2015): enclaves máficos arredondados a elípticos, complexos de veios, foliação de estado sólido (nas partes mais externas do plúton) e de fluxo magmático (marcada pela orientação NNE-SSW de cristais

euédricos e alinhamento de enclaves) direção associada ao evento de deformação Brasiliana, como coloca Jardim de Sá (1994), bem como outras estruturas observadas em campo, tais como falhas transcorrentes sinistras, juntas, fraturas, diques pegmatíticos e aplíticos com direção NE-SW (Fig. 4C e 4D) e diques de diabásio com direção E-W (Fig. 4E), relativos ao magmatismo Rio Ceará-Mirim, Cretáceo Inferior segundo Araújo *et al.* (2001).

Além da litologia, a disposição e o arranjo das juntas e fraturas são elementos estruturais rúpteis importantes para a compreensão holística e interpretação sobre a evolução das marmitas. Na área estudada, encontrou-se uma variedade de quatro direções de fraturas: Tipo I (NNE-SSW) e Tipo III (ENE-WSW) ligadas às principais estruturas do *fabric* brasileiro NE-SW; Tipo III (WNW-ESE) e Tipo IV (NNW-SSE) subordinadas às distensões cretáceas E-W (Fig. 5).



Figura 4. Visão da morfologia do terreno, litologia e estruturas da área de estudo. A) Canal do rio Potengi onde há o contato do PGB com a rocha encaixante, percebe-se a diferença topográfica nas áreas devido à variação litológica; B) Planos de deformação do granito no estado sólido com parâmetro 195/46 NW; C) Enclave de fácies intermediária a máfica cortado por dique aplítico NNE-SSW que coincide com plano de falhamento inverso; D) Fácies granito porfirítico e pegmatítica com cristais de K-feldspatos alinhados na direção do fluxo magmático e planos de deslocamento inversos sinistrógiros com direção NNE-SSW; E) Diques de diabásio E-W a ESE-WNW com fraturas en-échelon NE-SW e irregulares N-S.

Figure 4. Terrain morphology, lithology and structures visualization of study area. A) Potengi river channel where are PGB and country rock baked zone, perceive the topographic difference at areas due to lithological variation; B) Foliation of granite in solid state with parameter 195/46 NW; C) Enclave of intermediary to mafic facies cropped by aplitic dike NNE-SSW that coincides with reverse fault plan; D) Porphyritic and pegmatitic facies of granite with K-feldspar crystals lined in magmatic flow direction and sinistral reverse displacement with NNE-SSW direction; E) E-W to ESE-WNW diabase dikes with NE-SW en-échelon and N-S irregular fractures.

3.2 Classificação morfológica

As marmitas do curso médio do Rio Potengi variam de tamanhos milimétricos a métricos, sendo identificadas marmitas com profundidade de até 3 m, bem como microformas que apenas iniciaram o seu desenvolvimento, estando em uma fase incipiente.

Uma primeira classificação que pode ser estabelecida para esses *pits* fluviais é quanto à posição da forma em relação ao leito rochoso. Se a profundidade da cavidade teve o desenvolvimento ortogonalmente ou com ângulo oblíquo maior que 45° em relação a horizontal tem-se uma marmita lateral (Fig. 6A, 6B e 6C), mas se a evolução da profundidade se der escavando o plano horizontal com ângulos suaves atribui-se a tipologia de marmita basal ou horizontal (Fig. 6D e 6E), outras formas de interação das formas erosivas e o substrato rochoso são de junções de marmitas laterais com basais muitas vezes

originando marmitas abertas (Fig. 6F), essas apresentando aberturas totais do substrato.

Em relação ao parâmetro geométrico das bordas externas das panelas observou-se a dimensão do eixo de maior comprimento (eixo "a") e seu eixo imediatamente ortogonal (eixo "b") em mais de 50 marmitas distintas. Elas foram classificadas em quatro diferentes padrões conforme variavam os comprimentos dos eixos "a" e "b" em: circulares, se eixo maior e ortogonal mais alongado tinham comprimento aproximado, pode ser observada na figura 7B; subcircular, se havia alguma diferenciação significativa do comprimento, figura 7D; elíptica, quando "a" era muito maior que "b", figura 7A; e multiforme, se haviam junção das morfologias anteriores, figura 7C.

Constatou-se ainda que existe uma predominância de formas subcirculares, seguidas pelas de geometrias elíptica e multiforme, e por fim em menor proporção estão as configurações circulares.

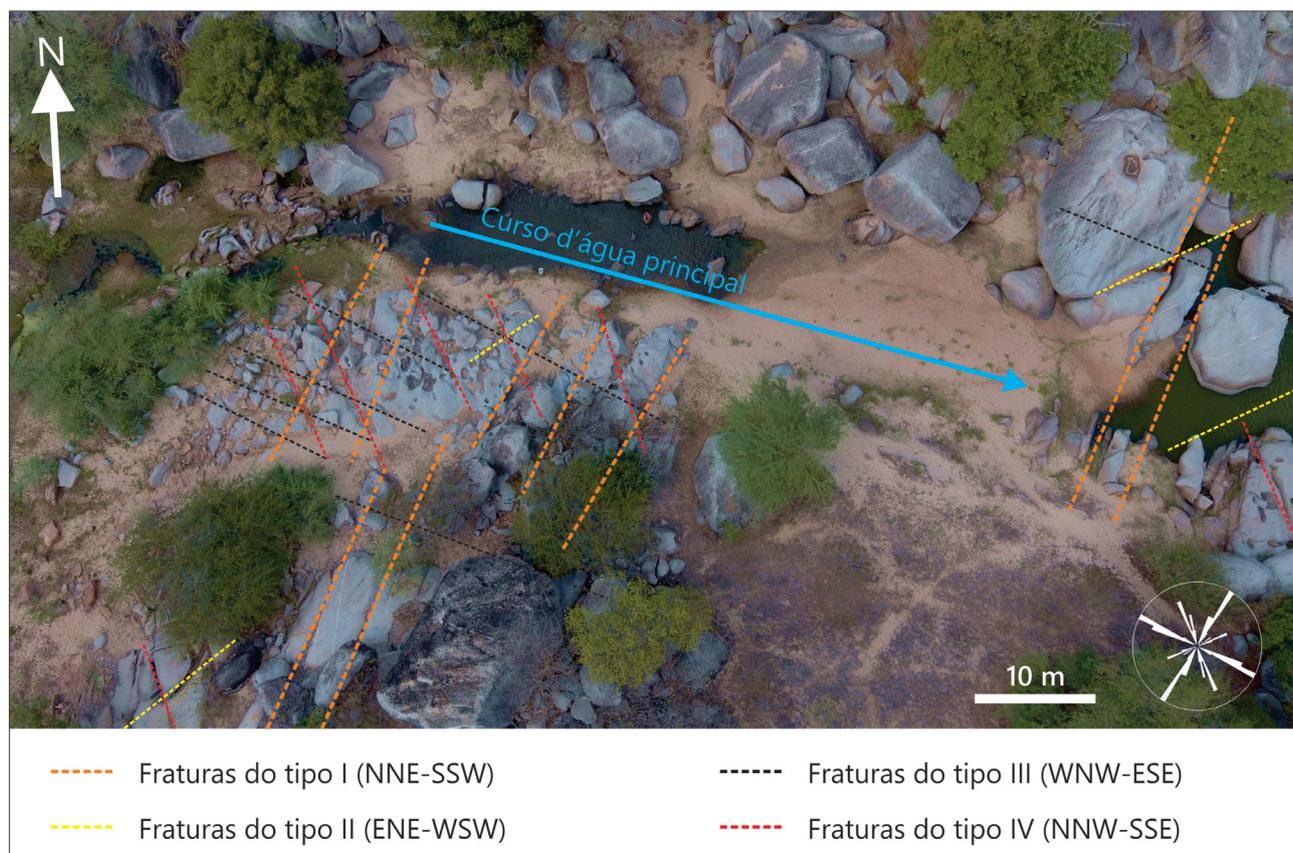


Figura 5. Mapa de juntas e fraturas estudadas no ponto 8 de ocorrência de marmitas (ortofotografia cedida por Mateus Ribeiro, 2021).

Figure 5. Map of joints and fractures studied at 8th point of potholes occurrence (orthophotography ceded by Mateus Ribeiro, 2021).

Verificou-se ainda que nas proximidades dos pontos 1, 4, 6, 7 e 8 (Fig. 3) foram encontradas formas próximas a circulares, e nas demais áreas predominavam arquiteturas elipsoidais e multiformes. Os pontos 2, 5 e 7 por sua vez contém marmitas laterais e abertas, nas pontualidades restantes há marmitas basais.

A figura 8 sistematiza os dois tipos diferentes de classificação, que podem ser atribuídos às morfologias das marmitas, seja quanto à relação espacial com o substrato ou com a morfologia geométrica da borda externa e respectivas relações axiais.

3.3 Contribuição litológica-estrutural na gênese e evolução

As interações físico-químicas como produtos do intemperismo de pequena escala podem gerar marmitas alinhadas seguindo os *trends* de sistema de juntas, se houverem repetidas dissoluções ao longo desse sistema.

Somadas também à presença de sedimentos e crescimento de plantas podem alargar a microforma, portanto o processo de geração de marmitas é uma combinação de processos de dissolução e abrasão (Ritter *et al.*, 2002).

O princípio de formação das marmitas é de que haja, nas proximidades, um manancial de água e uma exposição de rocha minimamente resistente à abrasão. Outro fator importante (Hall & Phillips, 2006) é que essa fonte de água cesse por um tempo e que a cavidade inicial permaneça com água para que, assim, o intemperismo atue mais intensamente e promova o crescimento do *pit*.

No contexto das marmitas do curso médio do rio Potengi, vê-se a variação climática drástica característica do semiárido, dos episódios de maiores precipitações no curso alto do rio e os períodos de seca e estiagem com baixos registros pluviométricos, como potenciais influenciadores e controladores do regime de crescimento dessas microformas.

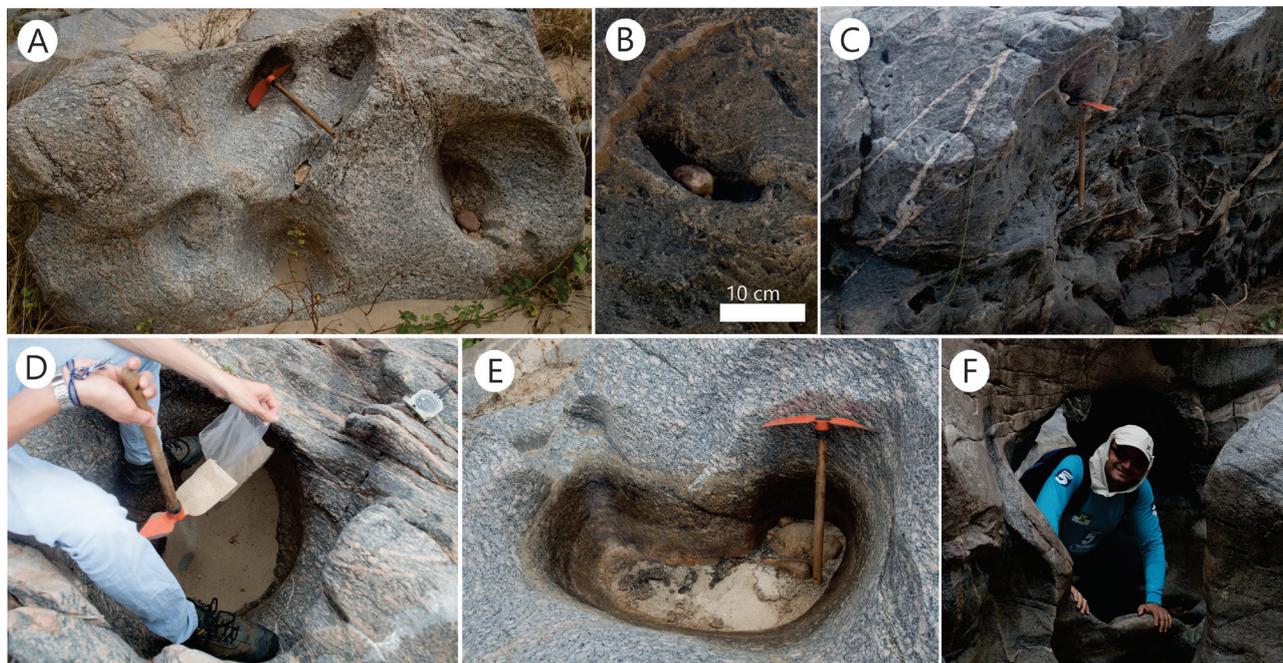


Figura 6. Classificação morfológica quanto ao posicionamento do eixo de profundidade da marmita em relação ao substrato e a horizontal. A) Marmitas laterais no ponto 3, onde as microformas foram desenvolvidas na fácies granito porfirítico em um bloco dentro do canal do rio; B) e C) Marmitas no ponto 2, onde as cavidades foram desenvolvidas no substrato que marca as margens do curso d'água; D) e E) Registros de desenvolvimentos no topo de leitos rochosos, dando origem a marmitas basais, nos pontos 1 e 3 respectivamente; F) Cavidade aberta do ponto 5 que se desenvolveu dentro dos limites do canal afluente do rio.

Figure 6. Morphologic classification regarding position of pothole depth axes associated to substrate and horizontal. A) Lateral potholes at point 3, where the microforms were developed in porphyritic granite facies in a block inside river channel; B) and C) Potholes at point 2, where the cavities were developed in a substrate that define the watercourses margins; D) and E) Development registers in bedrock top, forming to basal potholes, at points 1 and 3 respectively; F) Open cavity at point 5 that has developed on limits of affluent river channel.



Figura 7. Classificação morfológica quanto à geometria das bordas das marmitas e comprimentos dos eixos. A) Forma elíptica; B) Circular; C) Multiforme; e D) Subcircular.

Figure 7. Morphologic classification regarding pothole border geometry and axes length. A) Elliptical form; B) Circular; C) Multiform; and D) Subcircular.

Nos períodos de abundância hídrica, o fluxo concentrado inicia o processo de desgaste da superfície rochosa. Ao serem transportados em contextos de forte correnteza, com direção geral NW-SE, proporcionada pela abundância hídrica, os fragmentos atuam na evorsão (Waldherr *et al.*, 2017) e os setores de maior fragilidade rochosa na presença das águas vão sendo desgastados pela erosão diferencial.

Para que aconteça o desenvolvimento por meio de processos químicos é preciso que os produtos dos desgastes da rocha iniciais sejam removidos da panela como sugere Migoñ (2006). No caso das marmitas estudadas, muitas delas, principalmente as de maior profundidade, apresentavam sedimentos de granulometrias variadas (de silte a seixos, respectivamente Fig. 9A e 9B) e, algumas continham horizontes pedogenéticos (Fig. 9C) desenvolvidos com a presença de plantas primitivas. A remoção dos sedimentos ou de materiais de desgaste é provavelmente dada quando há a presença de fluxos d'água no canal principal.

Em períodos de temperaturas mais elevadas, menores precipitações e estando satisfeitas as condições da retirada dos sedimentos e presença d'água nas cavidades, a atuação da dissolução química na mineralogia das diferentes fácies do PGB, de acordo com o que propõe Chesworth (1979) há uma tendência dos óxidos como CaO, MgO, Na₂O e Fe₂O₃ serem levados em solução. Plagioclásios, biotitas, anfibólios, magnetitas e cloritas que estão na fácies porfirítica e mais comumente na fácies intermediária-máfica (Cavalcante *et al.*, 2014) são minerais mais instáveis ao ataque químico, logo denota-se uma preferência pela fragilidade química de se iniciarem as microformas de marmitas em estruturas como enclaves intermediários a máficos (Fig. 12), enquanto que as demais fácies ricas em quartzo e feldspatos são preservadas e mais abundantes como produtos residuais (Melfi *et al.*, 1983), muito embora que os megacristais de K-feldspato do PGB tenham teores CaO e Na₂O (Pinheiro & Vilalva, 2018) e sejam suscetíveis também à dissolução.

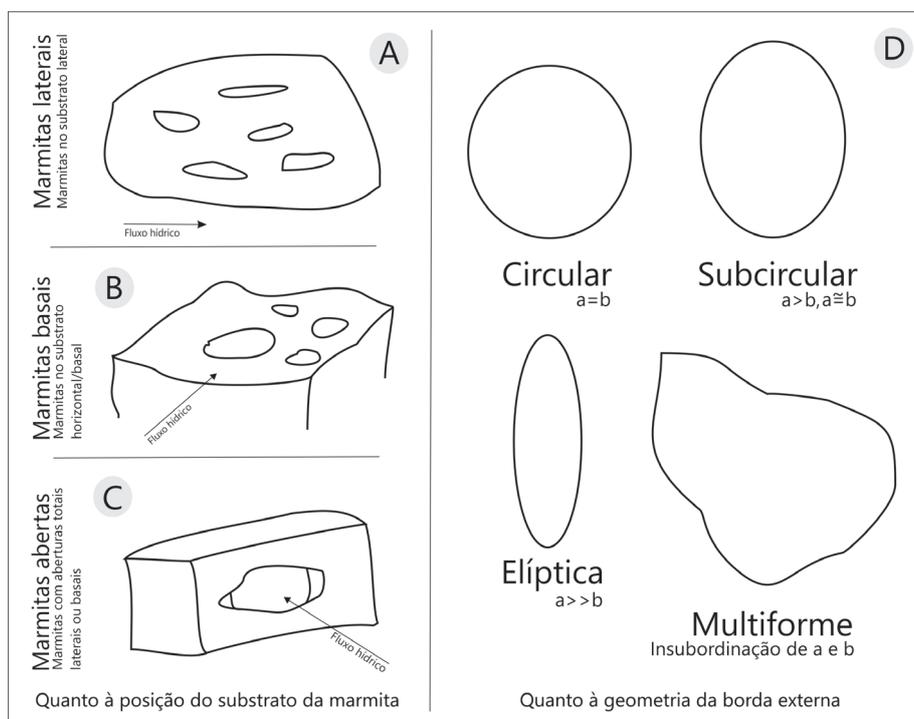


Figura 8. Tipos de classificação de marmitas seguindo os padrões morfológicos encontrados no leito do curso médio do rio Potengi. Classificação quanto à posição do substrato da marmita: A) Marmitas com substrato lateral; B) Marmitas com substrato basal; C) Marmitas com aberturas totais basais ou laterais. Classificação conforme a geometria externa da borda: D) Marmitas circulares, subcirculares, elípticas ou multiformes.

Figure 8. Classification types of potholes regarding morphologic standards found at Potengi river middle course. Classification based on pothole substrate position: A) Potholes with lateral substrate; B) Potholes with basal substrate; C) Potholes with total basal or lateral opening. Classification based on border external geometry: D) Circular, subcircular, elliptical or multiform potholes.

Mesmo que existam contribuições do intemperismo químico para o crescimento das marmitas, sabe-se que é difícil mensurá-lo e que sua influência de modo geral é menor do que a da abrasão (Fahey, 1986).

A declividade e o fluxo d'água são fatores que controlam a intensidade de abrasão e evorsão das cavidades. As marmitas estudadas nos pontos 2 a 8 têm um componente de fluxo direcional induzido, como se pode observar nas drenagens originadas no topo dos *inselbergs* na figura 2 e no padrão estrutural e de fluxo

direcional WNW-ESE de canais representado na figura 10.

A correlação da direção dos eixos de comprimento das marmitas com os *trends* das principais estruturas, fraturas e juntas dos diferentes oito segmentos no curso do rio Potengi indicam que pode existir um crescimento ou alongação preferencial seguindo os parâmetros estruturais (Domínguez-Villar *et al.*, 2009; Ortega *et al.*, 2014; Ji *et al.*, 2019). Na figura 9 pode-se ver a densidade de *trends* de estruturas, juntas e do maior eixo da cavidade.



Figura 9. Presença de sedimentos e formação de horizontes iniciais de solo nas marmitas. A) Sedimentos finos no centro da cavidade; B) Seixos e areia média preenchem o caldeirão; C) Desenvolvimento de uma camada fina de matéria orgânica onde as raízes das plantas se fixaram.

Figure 9. Presence of sediments and primitive soil layers into potholes. A) Fine sediments on the cavity center; B) Part are gravel and medium sand fill the pothole; C) Development of fine organic matter layer where roots of plants settled.

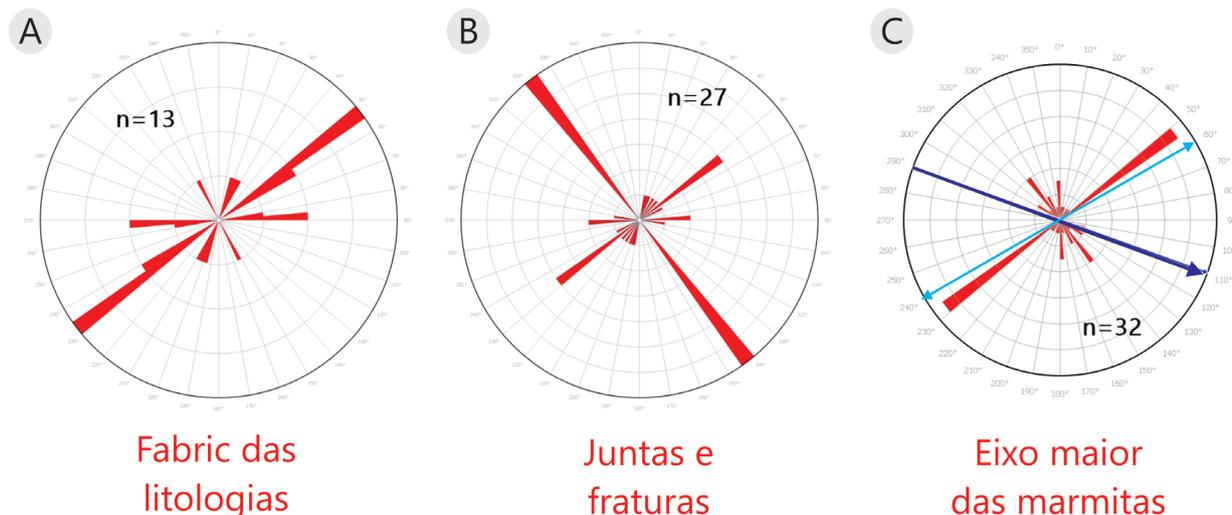


Figura 10. Diagramas de rosetas das estruturas relacionadas às marmitas. A) Estruturas do fabric; B) Fraturas e juntas; C) Eixo mais alongado das marmitas. A letra "n" indica o número de parâmetros para cada diagrama. A seta azul-escuro indica o sentido principal de fluxo do curso médio do rio Potengi, já a flecha azul-claro mostra a direção de fluxos secundários na área de estudo.

Figure 10. Roses diagrams of structures related to potholes. A) Fabric structures; B) Fractures and joints; C) Most elongated pothole axis. The letter "n" indicates the number of parameters for each diagram. Dark-blue arrow indicates the major path of Potengi river middle watercourse flow, whereas the light-blue arrow shows the secondary flow direction on study area.

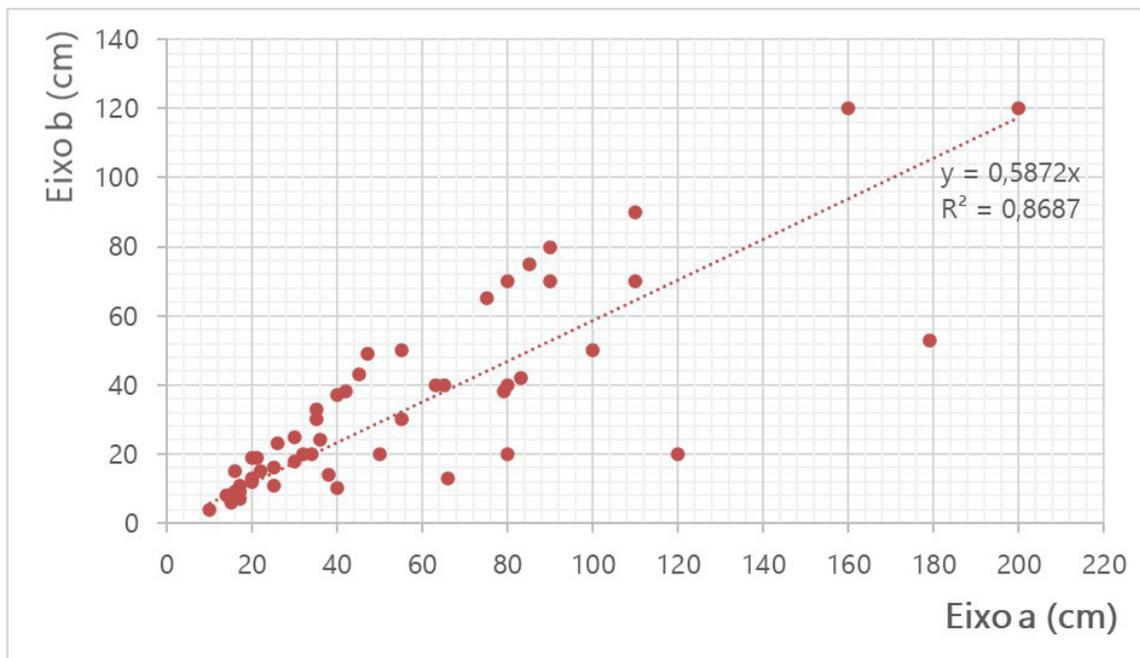


Figura 11. Relação entre o comprimento dos maiores eixos ortogonais a e b das marmitas.

Figure 11. Length relation between largest potholes orthogonal axes a and b.

As direções das foliações magmáticas e em estado sólido medidas em afloramentos mostraram-se ter uma correlação forte com a direção dos eixos alongados das marmitas, bem como, de forma secundária, a presença de juntas que controlam o desenvolvimento desses caldeirões, conforme a evolução desses.

Os dados dos comprimentos dos eixos indicaram que existe uma afiliação entre a geometria de marmita e sua fase de desenvolvimento. A linha de tendência da figura 11 aponta que as marmitas nas fases iniciais tendem a ser circulares e conforme aumentam de dimensão têm um comportamento declinado a ser elíptico, passando por fase subcircular.

A equação de regressão linear da figura 11 sugere que há um crescimento médio de 0,58 cm do eixo b para cada desenvolvimento de 1 cm do eixo a. A gradação da evolução das marmitas para geometrias assimétricas bem como do aumento das suas dimensões, conforme está assinalado pelo baixo valor de R^2 na figura 9, pode ser explicado pela presença das juntas e dos lineamentos magmáticos. Uma vez que as formas circulares não são predominantes, a assimetria dada pela orientação cristalina ou por *trends* de abrasão e/ou dissolução química sugere evoluções em diferentes proporções axiais.

O valor médio da razão a/b dos eixos de cada geometria pode expressar o quanto o eixo a cresce conforme a geometria vai de circular à elíptica. A razão para formas circulares é de 1,07, enquanto que na morfologia subcircular é de 1,51, na multiforme 2,16 e na elíptica a razão é expressa por 2,84, ou seja, nessa fase de evolução o eixo a se apresenta aproximadamente três vezes maior que o eixo b.

Conforme os estágios iniciais circulares vão gradando para outras geometrias há também um aumento gradativo na profundidade, isso faz com que novas fases evolutivas comecem dentro da mesma microforma. Quando a nova cavidade intramarmita inicia seu desenvolvimento o seu formato também é de circular a subcircular, enquanto que a superfície primária de evolução já está com uma geometria tendendo a multiforme ou elíptica. O que fica visível na figura 11 é que todos os estágios evolutivos possuem um *trend*

para o eixo a, seja seguindo as juntas ou o *fabric* estrutural da rocha.

No entanto, a direção dos fluxos locais e individualizados também é um fator a ser considerado no entendimento evolutivo em cada cavidade. A intensidade pode atenuar a evorsão preferencial e favorecer o aumento da profundidade em um sentido. Demais fatores como granulometria, angulosidade e esfericidade dos sedimentos podem contribuir para o aprofundamento e alargamento das marmitas.

O comprimento do eixo maior e o armazenamento de sedimentos grosseiros tem relação direta (Fig. 8A e 8B), quanto maior o eixo igualmente é com a tendência para o armazenamento de sedimentos como seixos e blocos, contribuindo para um vortex de evorsão mais intenso, consonante com o que colocam Sklar & Dietrich (2001) e Ji *et al.* (2019)

Essas relações ao longo dos pontos estudados (Fig. 3) variaram. Nos pontos de 1 a 4, por exemplo existem marmitas com granulometria areia e o fluxo parece contribuir para um aprofundamento vertical ou raso da marmita, a granulometria e a dispersão de sedimentos em um canal mais largo, dá indícios que a energia fluvial nesse curso d'água é mais branda. Nos pontos de 5 a 8, com canais confinados e escavados com fluxos direcionais em leito rochoso, o poder erosivo aumenta e propicia o desenvolvimento das marmitas.

Na figura 12 é possível visualizar os diferentes estágios dos tipos de evolução das microformas e compreender como formas de 4ª ordem, como propõe Godard (1977). Podem contribuir em sua evolução de maneira a originar caneluras e vales fluviais escavados e ainda desgastar blocos e matacões, como se vê na contribuição da aglomeração e intercrescimento de caldeirões no leito granítico.

Assim, a origem e evolução de um *canyon* no leito rochoso do rio Potengi é concomitante à sucessão do controle das formas associadas do terreno, como os *inselbergs*, que estão segmentados pelo conjunto de ações intempéricas e erosionais, dentre essas a contribuição dos processos fluviais.

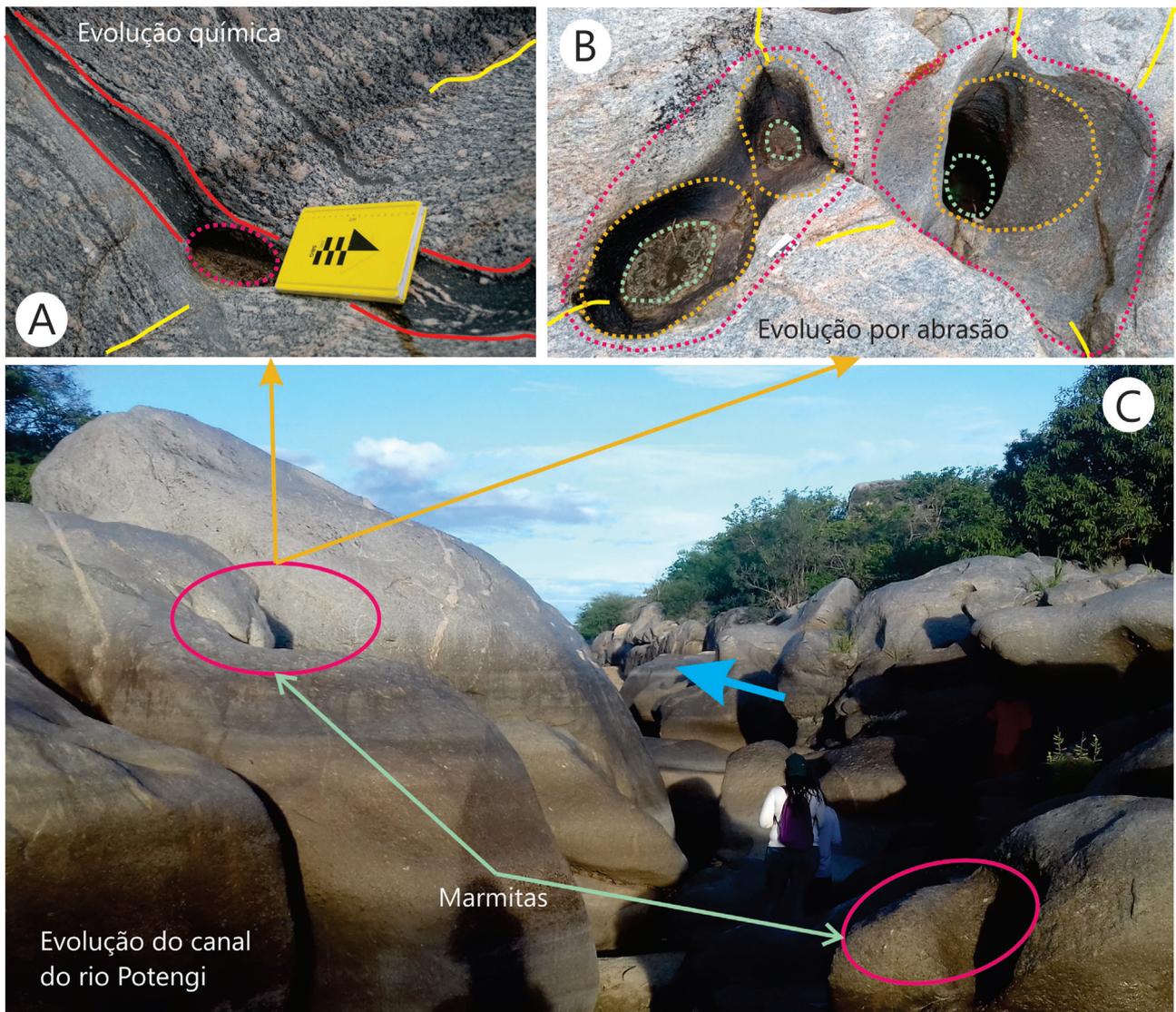


Figura 12. Interpretação evolutiva das marmitas e do leito granítico do curso médio do rio Potengi. A) Destaque para a evolução química, em que a linha vermelha contínua envolve o enclave intermediário-máfico, enquanto as linhas amarelas denotam as juntas, e a linha tracejada violeta mostra uma preferência química da origem da microforma na fácies intermediária-máfica; B) Processo de evolução por abrasão, onde as linhas amarelas (juntas), as linhas tracejadas violetas (primeiro estágio de evolução), as linhas tracejadas amarelas (segundo estágio) e tracejadas azuis (terceiro estágio) mostram como o crescimento apresenta tendência seguindo as estruturas frágeis como as juntas; C) Entende-se como se deu a evolução do canyon a partir do desenvolvimento e intercrescimento dos caldeirões, seja pela evolução química e/ou por abrasão, ressaltando o principal fluxo d'água na seta azul.

Figure 12. Potholes evolutionary interpretation and middle course of Potengi river granitic bed. A) Highlight for chemical evolution, in which the continuous red line involves the intermediate-mafic enclave, while the yellow lines denote the joints, and the violet dashed line shows a origin with chemical preference of the microform in the intermediate-mafic facies; B) Abrasion evolution process, where the yellow lines (together), the violet dashed lines (first stage of evolution), the yellow dashed lines (second stage) and blue dashes (third stage) show how the growth shows a trend following fragile structures such as joints; C) It is understood how Potengi canyon evolved from the potholes development and intergrowth, either by chemical evolution and/or by abrasion, highlighting the main flow of water in the blue arrow.

5 Conclusões

As marmitas são microformas que denunciam importantes processos geomorfológicos em leito rochoso. Os processos que culminam com a geração das marmitas são dinâmicos e ininterruptos.

Pôde-se ver que existem diversos fatores que controlam a evolução dessas microformas, e que o controle estrutural e disposição litoquímica exercem grande influência na preferência de crescimento dos eixos das marmitas.

As relações dos *trends* dos eixos das marmitas e do *fabric* das litologias, essencialmente do PGB, podem mostrar que pode não haver uma relação direta entre o fluxo hidráulico e o paralelismo com estruturas e juntas ou que há um controle exclusivo do fluxo no crescimento das marmitas.

Foi visto que nos locais de ocorrência de marmitas em que havia a presença da metamórfica encaixante e do PGB muito deformado, as marmitas de modo geral tendiam a ser laterais e elípticas, ou seja, com algum segmento axial acompanhando aproximadamente o *trend* de estiramento da rocha, como era o caso dos pontos de 1 a 6. Nas demais localidades, com granito e fácies associadas pouco deformadas havia predominância de marmitas circulares a subcirculares.

Outra observação importante é que, de modo geral, as geometrias multiformes e elípticas são mais rasas, enquanto as geometrias subcirculares e circulares são as que apresentavam maiores profundidades, quando a relação se torna inversa para o comprimento dos eixos das bordas externas.

Essas microformas podem dar, ou contribuir para a, origem às formas do relevo de mesma ou maior ordem, como tafonis a partir de marmitas laterais e abertas, caneluras de marmitas basais, ou mesmo tanques naturais e *canyons* por conjuntos de marmitas, como é o do curso médio do rio Potengi, contribuindo assim na progressão e dinâmica da paisagem.

A classificação das marmitas a partir dos critérios elencados evidencia a necessidade de aprofundamento nas pesquisas sobre as condições ambientais do local e a relação do

leito do rio Potengi com o entorno, marcado por *inselbergs* e serras alinhadas.

Sabe-se também que o entendimento sobre as marmitas auxilia na compreensão da dinâmica geomorfológica e fluvial da área, a datação de sedimentos intramarmitas podem, por exemplo, fornecer informações temporais sobre a modelagem geomorfológica no quaternário e se existem interferências drásticas nas paisagens na construção de barragens ao longo do curso médio do rio Potengi.

A sociedade local pode se beneficiar de tais características, revertendo o potencial da geodiversidade em ações concretas que geram conhecimento e renda, bem como revela a necessidade de proteção e divulgação desse elemento da geodiversidade.

A inventariação, elaboração de roteiros geoturísticos e geoeducativos em campos de marmitas fluviais, tal como está proposto em Álvarez-Vazquez & Unã-Álvarez (2017) são importantes para definir usos do território e promover atividades de geoconservação, uma vez que durante as etapas de campo foram vistas interferências de degradação humana nas marmitas, como pichações e colocação inadequada de resíduos.

Trabalhos futuros podem contar com o auxílio de geotecnologias para modelar as microformas com maior precisão, o uso de VANTs e o mapeamento aerofotogramétrico em diferentes estações do ano pode apresentar mais resultados sobre a evolução dessa ocorrência de marmitas.

Estudos posteriores sobre a evolução das marmitas, que utilizem a comparação em diferentes ambientes litológicos e estruturais, podem refinar as conclusões sobre os mecanismos genéticos e de evolução dessas microformas.

Agradecimentos. Os autores agradecem aos proprietários e os moradores locais, que gentilmente concederam a entrada e conduziram os pesquisadores aos pontos estudados, facilitando o acesso e sugerindo pontos para estudo. Dedicamos este artigo ao proprietário Ivanaldo Maia (*in memoriam*). A Mateus Ribeiro por fotografias de drone amigavelmente

cedidas, bem como ao professor Aldi Costa pela revisão ortográfica minuciosa. Agradecemos também aos revisores do periódico Pesquisas em Geociências pelas valiosas sugestões para aperfeiçoar o trabalho.

Referências

- Ab'Saber, A. N. 2003. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo, Ateliê Editorial, 159p.
- Alexandrowicz, Z. 1989. Evolution of weathering pits on sandstone tors in the Polish Carpathians. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 33(3): 275-289.
- Angelim, L.A.A. 2006. *Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte*. Recife, CPRM & FAPERNA, 119p.
- Araújo, M.D.S., Brito Neves, B.B. & Archanjo, C.J. 2001. Idades $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ do magmatismo básico meso-cenozóico da Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 19, 2001, Natal, SBG. *Boletim de Resumos do XIX Simpósio de Geologia do Nordeste*; Natal-RN, SBG, p. 260-261.
- Álvarez-Vázquez, M.Á. & Uña-Álvarez, E. 2017. Inventory and assessment of fluvial potholes to promote geoheritage sustainability (Miño River, NW Spain). *Geoheritage*, 9(4), 549-560.
- Cavalcante, R., Galindo, A.C., Silva, F.C.A. & Souza, R.F. 2014. Química mineral e condições de cristalização do Plúton Granítico Barcelona, extremo nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 41(3): 257-272.
- Cavalcante, R. 2015. *Petrologia e geologia estrutural do plutão granítico Barcelona, província Borborema, NE do Brasil*. Natal, 145p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Chesworth, W. 1979. The major element geochemistry and the mineralogical evolution of granitic rocks during weathering. *Physics and Chemistry of the Earth*, 11: 305-313.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2005. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Barcelona, estado do Rio Grande do Norte*. Recife, CPRM/PRODEEM, 11p.
- Costa, L.R.F., Maia, R.P., Barreto, L.L. & Claudino Sales, V. 2020. Geomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro: uma proposta de classificação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(1): 185-208.
- Dantas, E.L. 1997. *Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos arqueanos e paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil*. Rio Claro, 206p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Dhali, M.K. 2019. Dynamic evolution of riverbed potholes in the granitic bedrock of Chota Nagpur Plateau, middle part of Subarnarekha River basin, India. *Journal of Hydrology*, 571: 819-836.
- Diniz, M.T.M. & Pereira, V.H.C. 2015. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: Sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. *Boletim Goiano de Geografia*, 35(3): 488-506.
- Domínguez-Villar, D., Razola, L., Carrasco, R.M., Jennings, C.E. & Pedraza, J. 2009. Weathering phases recorded by gnammas developed since last glaciation at Serra da Estrela, Portugal. *Quaternary Research*, 72(2): 218-228.
- Fahey, B.D. 1986. Weathering pit development in the Central Otago mountains of southern New Zealand. *Arctic and Alpine Research*, 18(3): 337-347.
- Godard, A. 1977. *Pays et paysages du granite: introduction à une géographie des domaines granitiques*. Paris, Presses Universitaires de France, 232p.
- Hall, A.M. & Phillips, W.M. 2006. Weathering pits as indicators of the relative age of granite surfaces in the Cairngorm Mountains, Scotland. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 88(2): 135-150.
- Hollanda, M.H.B.M., Archanjo, C.J., Macedo Filho, A.A., Fossen, H., Ernst, R.E., de Castro, D.L., Melo, A.C. & Oliveira, A. L. 2019. The Mesozoic Equatorial Atlantic Magmatic Province

- (EQUAMP). In: Srivastava, R., Ernst, R. & Peng, P. (eds.). *Dyke swarms of the world: A modern perspective*. Singapore, Springer, p. 87-110.
- Jardim de Sá, E.F. 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Brasília, 803p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Ji, S., Zeng, W., Li, L., Ma, Q., & Feng, J. 2019. Geometrical characterization of stream potholes in sandstone from the Sunxi River (Chongqing, China) and implications for the development of bedrock channels. *Journal of Asian Earth Sciences*, 173: 374-385.
- Lorenc, M.W., Mun, P. & Saavedra, J. 1994. The evolution of potholes in granite bedrock, W Spain. *Catena*, 22(4), 265-274.
- Medeiros, W.D.D.A. 2003. *Sítios geológicos e geomorfológicos dos municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas e Currais Novos, região Seridó do Rio Grande do Norte*. Natal, 141p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Melfi, A.J., Cerri, C.C., Kronberg, B.I., Fyfe, W.S. & McKinnon, B. 1983. Granitic weathering: a Brazilian study. *Journal of Soil Science*, 34(4): 841-851.
- Migoñ, P. 2006. *Granite landscapes of the world (Geomorphological Landscapes of the World)*. Oxford, Oxford University Press, 416p.
- Ortega, J.A., Gómez-Heras, M., Perez-López, R. & Wohl, E. 2014. Multiscale structural and lithologic controls in the development of stream potholes on granite bedrock rivers. *Geomorphology*, 204: 588-598.
- Pinheiro, D.S. & Vilalva, F.C. J. 2018. Textura e Quimismo dos Megacristais de Feldspato Potássico do Plúton Granítico Barcelona, Domínio São José do Campestre, Província Borborema, NE do Brasil. *Revista de Geologia*, 31(1): 83-101.
- Ritter, D.F., Kochel, R., Miller, Jerry R. C. 2002. *Process geomorphology*. Boston, McGraw-Hill, 652p.
- Santos, M.F.C.F. 2001. *Geologia e paleontologia de depósitos fossilíferos pleistocênicos do Rio Grande do Norte*. Natal, 81p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Santos, M.F.C.F., Bergqvist, L.P., Lima-Filho, F.P. & Pereira, M.M.V. 2002. Feições tafonômicas observadas em fósseis pleistocênicos do Rio Grande do Norte. *Revista de Geologia*, 15(3): 31-41.
- Santos, R.O., Scudelari, A.C., Cunha, C.L.N., Righetto, A.M. 2013. Avaliação da produção e aporte de sedimentos para o Rio Potengi, RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18: 149-163.
- Silva, D.G., Corrêa, A.C.B. & Amorim, R.F. 2017. Caracterização morfológica e dinâmica ambiental das marmitas (weathering pit) no Distrito de Fazenda Nova, Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18(2): 349-362.
- Sklar, L.S. & Dietrich, W.E. 2001. Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock. *Geology*, 29(12): 1087-1090.
- Waldherr, F.R., Araújo-Júnior, H.I. & Rodrigues, S. W. O. 2017. Origem e morfologia dos tanques naturais do Nordeste do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 44(3): 467-488.