

Artigo de Pesquisa

ORIGEM E EVOLUÇÃO DAS JACUZZIS NATURAIS (MARMITAS) EM PRESIDENTE FIGUEIREDO (AM): UTILIZAÇÃO DE EXOCARSTES PARA PRESERVAÇÃO DO MEIO NATURAL NO PROJETO GEOPARQUE CACHOEIRAS DO AMAZONAS

Origin and evolution of natural jacuzzis (potholes) in Presidente Figueiredo (AM): exokharsts use for the natural environment preservation in the Cachoeiras do Amazonas Geopark project

Isabela Apoema Gomes de Souza¹, Roberto Cesar de Mendonça Barbosa², Carlos Alejandro Salazar³

¹ Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Geociências, Manaus, Brasil.
E-mail. isabela.1@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5356-2539>

² Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Geociências, Manaus, Brasil.
E-mail. rcbarbosa@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-8795-1578>

³ Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Geociências, Manaus, Brasil.
E-mail. csalazar@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-7799-9762>

Recebido em 10/02/2025 e aceito em 12/09/2025

RESUMO: As marmitas são geiformas exocársticas na forma de depressões circulares encontradas no leito rochoso de drenagens e tradicionalmente associadas à ação abrasiva das águas. Em Presidente Figueiredo (AM), marmitas de grandes dimensões, localmente chamadas de jacuzzis naturais, têm chamado a atenção devido ao seu potencial geoturístico, bem como questionamentos sobre sua formação, uma vez que os modelos hidrodinâmicos tradicionais são incompatíveis com a profundidade dessas geoformas. Esse artigo apresenta a caracterização morfométrica e da geodiversidade nas principais ocorrências das geoformas, com objetivo de promoção da geodiversidade local e utilização sustentável do meio natural no projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas. As 123 marmitas avaliadas ocorrem em arenitos finos a médios da Formação Nhamundá (Bacia do Amazonas). Predominam aberturas elípticas, do tipo *pan*, com relação diâmetro/profundidade com tendência linear positiva e eixo maior orientado para o quadrante NW, compatível com os principais esforços neotectônicos da região. A origem e evolução de marmitas para jacuzzis naturais envolvem a escavação inicial em anisotropias estruturais, coalescência e aumento da geoforma ao longo das anisotropias e a dissolução do substrato rochoso promovido pelo rebaixamento cíclico do lençol freático. A avaliação da geodiversidade classificou os locais como geossítios de relevância nacional e sítio da geodiversidade. As informações foram compartilhadas com os guias de turismo do território e utilizadas na proposição de painéis interpretativos que destacam a geodiversidade local reforçando políticas inerentes a futura implementação do geoparque.

Palavras-chave: Geoconservação; Carstes; Painéis Interpretativos.

ABSTRACT: The potholes are circular exokarst geoforms found in the drainage bedrock and traditionally due to the abrasive action of water. At Presidente Figueiredo (AM), large potholes, locally called naturals jacuzzi, have attracted attention related to their geotourism potential, as well as formation, since traditional hydrodynamic models are incompatible with the depths of these geoforms. This article presents a morphometrics and geodiversity characterization of the main occurrences of the geoforms sites, with the aim of promoting local geodiversity and sustainable use of the natural environment of the Cachoeiras do Amazonas Geopark project. The 123 availed potholes occur in fine-to-medium grained sandstones of the Nhamundá Formation (Amazon Basin). Elliptical apertures and pan type predominate, with positive linear trend diameter/depth ratio and a major axis oriented toward the NW quadrant, compatible with the main regional neotectonic efforts. The origin and evolution of naturals jacuzzi involve initial excavation in structural anisotropies, coalescence and enlarge of the geoform along the anisotropies, and rock dissolution promoted by the cyclical lowering of the water table. The geodiversity analysis classified the geoforms occurrences as national relevance geosites and geodiversity sites. The information was shared with the territory's tourist guides and used to propose interpretative panels that highlight the local geodiversity, reinforcing policies inherent to the future implementation of the geopark.

Keywords: Geoconservation; Karsts; Interpretative Panels.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a ação desenfreada do ser humano e as alterações do meio ambiente têm gerado uma preocupação crescente quanto à conservação da geodiversidade para as gerações futuras. Nesse contexto, nasce o conceito de Geoparque, que visa valorizar o patrimônio da Terra, suas paisagens e formações geológicas em conjunto com práticas de desenvolvimento sustentável local (CARVALHO et al., 2020; CATANA e BRILHA, 2020; RODRIGUES et al., 2021; FLEIG et al., 2022; KUHN et al., 2022). A essência de um Geoparque baseia-se na ideia de uma sala de aula/laboratório *in natura* de beleza excepcional e relevância geocientífica, promovendo atividades de pesquisas, socioeducativas, ambientais e sustentáveis (GRAY et al., 2013; BRILHA et al., 2018; FERREIRA e VALDATI, 2023).

Para que um Geoparque seja desenvolvido é necessário inicialmente conhecer a diversidade geológica do local, o que norteia as avaliações e potenciais que farão parte do planejamento das ações de conservação e uso. Segundo Garcia et al., (2022), as estratégias de geoconservação abrange três módulos gerais: diagnóstico (coleta de dados e avaliação), conservação (proteção legal e monitoramento) e promoção (ações de divulgação). Esses módulos devem ser aplicados em conjunto para o sucesso de políticas bem-sucedidas de conservação e sustentabilidade baseada na geodiversidade.

No início da década passada, o município de Presidente Figueiredo (AM), conhecido regionalmente como “Terra das Cachoeiras”, foi alvo de um inventário do geopatrimônio da região, delimitando um território de 6.774 km² sob a denominação de Projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas (GCA) (Figura 1; SCHOBENHAUS, 2012). Atualmente o Projeto GCA conta com 18 geossítios e 2 sítios da geodiversidade cadastrados que evidenciam elementos geológicos do norte da Bacia do Amazonas, além de aspectos paleontológicos e arqueológicos de relevância científica, didática, educativa e turística (OLIVEIRA et al., 2022; SOUZA e RIBEIRO, 2024). Os geossítios e sítios da geodiversidade cadastrados estão concentrados em cachoeiras, quedas



d'água, corredeiras e, especialmente, em feições cársticas (p.e. grutas e cavernas) ainda pouco estudadas nos arenitos silurianos da Formação Nhamundá, Grupo Trombetas da Bacia do Amazonas (CUNHA et al., 2007).

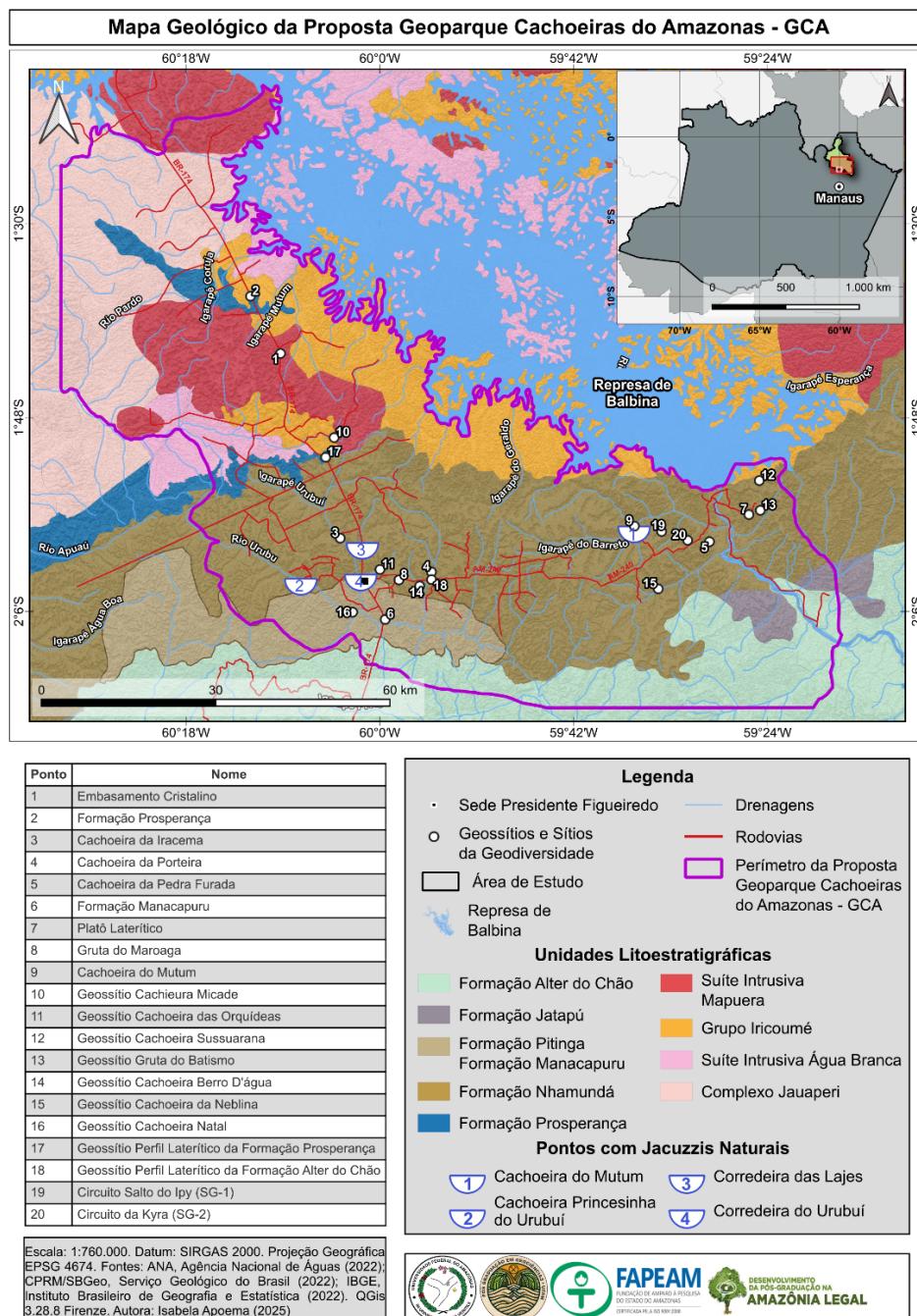


Figura 1. Mapa de localização e geológico simplificado da proposta Geoparque Cachoeiras do Amazonas, com destaque para os principais locais de ocorrência das marmitas.

Nos últimos anos, outras feições cársticas como as marmitas e jacuzzis naturais (termo local para exemplares de grande escala) também têm despertado interesse geoturístico, entretanto ainda permanecem não bem compreendidas cientificamente, uma vez que os modelos hidrodinâmicos tradicionais de origem e evolução são incompatíveis com suas grandes dimensões, que podem alcançar 4.95 m de abertura e profundidades de até 5.21 m (OLIVEIRA et al., 2022).

Após a criação do projeto e a quantificação preliminar do Geoparque, poucas iniciativas ocorreram para a elaboração de um plano de atividades para a sua implementação, especialmente as aplicadas nos grupos de interesse (*stakeholders*), resultando na desvirtuação das atividades de geoconservação, vitais em qualquer Geoparque. Neste sentido, este artigo apresenta a análise morfométrica e considerações sobre a origem e evolução das marmitas, o diagnóstico da geodiversidade aplicado nos locais de ocorrências, atividades de geoeducação com guias de turismo que atuam no território, bem como sugestões de atividades de promoção e divulgação das geoformas. Essas iniciativas buscam contribuir nos módulos de diagnóstico e promoção do Geoparque, criando alternativas geoturísticas para valorização, preservação e uso sustentável de marmitas encontradas no projeto GCA.

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização morfométrica de 123 marmitas, como por exemplo o eixo maior, eixo menor, profundidade, diâmetro médio da borda externa, razão da borda externa (a/b), forma lateral (b/h), razão diâmetro-profundidade (D/h) e orientação preferencial, seguiu a proposta de Ji et al., (2019) e foram obtidas por meio de uma trena retrátil de 10 m, uma corda não elástica graduada anexada a um plumo de ferro fundido de 400 g e uma bússola geológica. Os dados estatísticos foram apresentados na forma de histogramas e complementados por gráficos gerados no programa *RStudio* versão 2023.06.0 (BATTIST et al., 2019).

Essas informações serviram de base para o diagnóstico da geodiversidade dos locais de interesse geológico (BRILHA, 2016) que considera o valor científico, os potenciais para uso educacional e turístico, bem como o risco de degradação. Os locais com marmitas foram caracterizados em campo com o auxílio de uma ficha de inventário e avaliados quantitativa via plataforma GEOSSIT (Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade), que permitiram a classificação e recomendação de uso sustentável (ROCHA et al., 2016). Assim, as médias dos valores das notas de cada quesito da localidade selecionada determinaram a sua classificação e relevância nos âmbitos internacional (> 300), nacional (entre 200 e 299) ou regional (< 199), bem como as prioridades para medidas de proteção e preservação devido a atividades didáticas, turísticas e científicas.

A avaliação qualitativa envolveu a caracterização prévia dos elementos da geodiversidade das feições de interesse em documentos disponíveis e visitas *in loco*, seguido do preenchimento de formulários com foco no geoturismo, como os descritos nas pesquisas de Alves e Medeiros (2020), Silva et al., (2021; 2022) e Henriques e

Alves (2023). Este formulário possui os critérios de identificação e avaliação, incluindo os valores da geodiversidade, potenciais de uso e necessidade de proteção. Por sua vez, o diagnóstico socioambiental dos guias de turismo foi realizado por meio da promoção e condução de diálogos participativos (OLIVEIRA et al., 2019), estabelecidos por um conjunto de atividades que incluíram uma roda de conversa, um curso temático e uma visita técnica. As atividades foram realizadas no auditório do Núcleo de Ensino Superior de Presidente Figueiredo da Universidade do Estado do Amazonas (NESPF-UEA) em agosto de 2022. As informações obtidas nos métodos anteriores foram integradas e utilizadas para a proposição de modelos de painéis interpretativos sobre a geodiversidade representada pelas marmitas.

Os painéis interpretativos foram elaborados para comunicar informações sobre as jacuzzis naturais e outras feições geológicas da Cachoeira do Mutum e da Corredeira do Urubuí. Sua estrutura segue um *layout* organizado, dividido em seções distintas, facilitando a interpretação visual e textual pelos visitantes, integrados com elementos básicos como título e subtítulos, cores, texto explicativo, imagens e elementos gráficos (PROJETO DOCE MATA, 2002; BENTO e NAZAR, 2020).

Área de Estudo

No contexto do GCA, o substrato rochoso onde as marmitas avaliadas ocorrem pertencem a Formação Nhamundá (Grupo Trombetas), na faixa de exposição da borda norte da Bacia do Amazonas (CUNHA et al., 2007). Essa unidade geológica aflora ao longo de rodovias, bem como ao longo das margens rochosas das drenagens e, em determinadas localidades, a espessura das camadas alcança aproximadamente 450 m. Os litotipos da Formação Nhamundá em Presidente Figueiredo (AM) são de natureza siliciclástica, com predominância de arenitos e localmente pelitos, folhelhos e diamictitos. Análises faciológicas em afloramentos situados no Projeto GCA realizados por Soares et al., (2005) permitiram a identificação de fácies sedimentares relacionadas a um paleoambiente costeiro com influência glacial de idade siluriana (CUERVO et al., 2018).

Os três domínios geomorfológicos que ocorrem na região são representados por Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental, Superfícies Aplainadas do Norte da Amazônia e Planalto Residual do Norte da Amazônia (DANTAS e MAIA, 2012). A evolução do relevo local está associada a deformação neotectônica que resultou na formação de vales encaixados e sistemas de drenagem em treliça caracterizados por corredeiras, cachoeiras e processos de carstificação na Formação Nhamundá (NOGUEIRA e SARGES, 2001; FRANZINELLI e IGREJA, 2002).

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é classificado com equatorial (Af), com temperatura média anual de 27° C, com meses mais quentes entre agosto e novembro. Por sua vez, a média mensal de pluviosidade gira em torno de 250 mm, com período mais chuvoso entre dezembro e maio. As geoformas ocorrem em drenagens das bacias do rio do Uatumã (Cachoeira do Mutum) e a do rio Urubu (Cachoeira Princesinha do Urubuí e corredeiras da Lajes e Urubuí), caracterizadas por águas escuras (DANTAS e MAIA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise Morfométrica

A análise foi concentrada em exposições situadas nas margens dos igarapés onde ocorriam os principais relatos de marmitas no território, a saber: Cachoeira do Mutum, no médio curso do igarapé Barreto; Cachoeira Princesinha do Urubuí, no baixo curso do rio homônimo; Corredeira das Lajes, no baixo curso do igarapé das Lajes e; Corredeira do Urubuí, no baixo curso do rio Santa Cruz. Feições exocársticas no substrato rochoso são comuns, em especial as encontradas na Cachoeira do Mutum, que incluem alvéolos, tafonis, caneluras, bacias de dissolução e marmitas (Figura 2). As exposições também apresentam estruturas tectônicas como zonas de cisalhamento, falhas, fraturas, veios de sílica, camadas inclinadas e foliações. Em especial, no substrato arenítico da Corredeira do Urubuí e próximo as bordas de algumas marmitas são registrados amoladores polidores fixos subparalelos com geometria de canoa. Amoladores polidores se destacam por superfícies lisas restritas que contrastam com as superfícies irregulares a rugosas das feições exocársticas onde ocorrem.

Nos quatro locais avaliados as marmitas foram encontradas em trechos de rios a montante de cachoeiras (Mutum e Princesinha do Urubuí) e associadas a corredeiras/quedas d'água (Lajes e Urubuí) com gradientes entre 9° e 10° (Figuras 3A e 3B). Com exceção da Cachoeira do Mutum, onde as marmitas estão distribuídas tanto na porção central da drenagem quanto nas margens rochosas inundáveis sazonalmente, nas outras localidades as feições tendem a estarem concentradas preferencialmente na margem direita da drenagem. As marmitas são observadas de formas agrupadas ou isoladas, algumas conectadas em profundidade, com geometrias da seção horizontal que incluem aberturas circulares, subcirculares, elípticas e poligonais, as últimas limitadas por fraturas (Figuras 3C a 3E). As geoformas assumem em profundidade geometria aproximada das aberturas, gerando bordas retas e suspensas (Figuras 3F a 3H). Entretanto, locais com substratos inclinados, como nas corredeiras das Lajes e Urubuí, produzem marmitas com bordas inclinadas, especialmente quando associadas a falhas e fraturas.

Em especial, alguns exemplares de marmitas e jacuzzis naturais na Cachoeira do Mutum e na Corredeira das Lajes apresentam múltiplas bordas suspensas, chamadas de telescópicas. Por sua vez, as paredes das escavações são suavemente lisas, destacando estruturas sedimentares primárias, como por exemplo, laminações planares e traços fósseis. No entanto, também são comuns paredes internas rugosas e/ou com alvéolos, as últimas localizadas nas margens das drenagens e/ou que ficam expostas parcialmente na estação seca da região.

A base das marmitas avaliadas pode variar de formatos planos a convexos. Em escavações com profundidades maiores que 1 m são mais frequentes bases convexas, enquanto as situadas a montante e jusante das cachoeiras e corredeiras,

bem como nas margens dos canais, assemelham-se as bases constatadas nas variedades do tipo *pan*. Em casos mais restritos, como no substrato rochoso inclinado da Corredeira do Urubuí e na Cachoeira Princesinha do Urubuí, também pode ser constatada a variedade côncava do tipo *poltrona*.

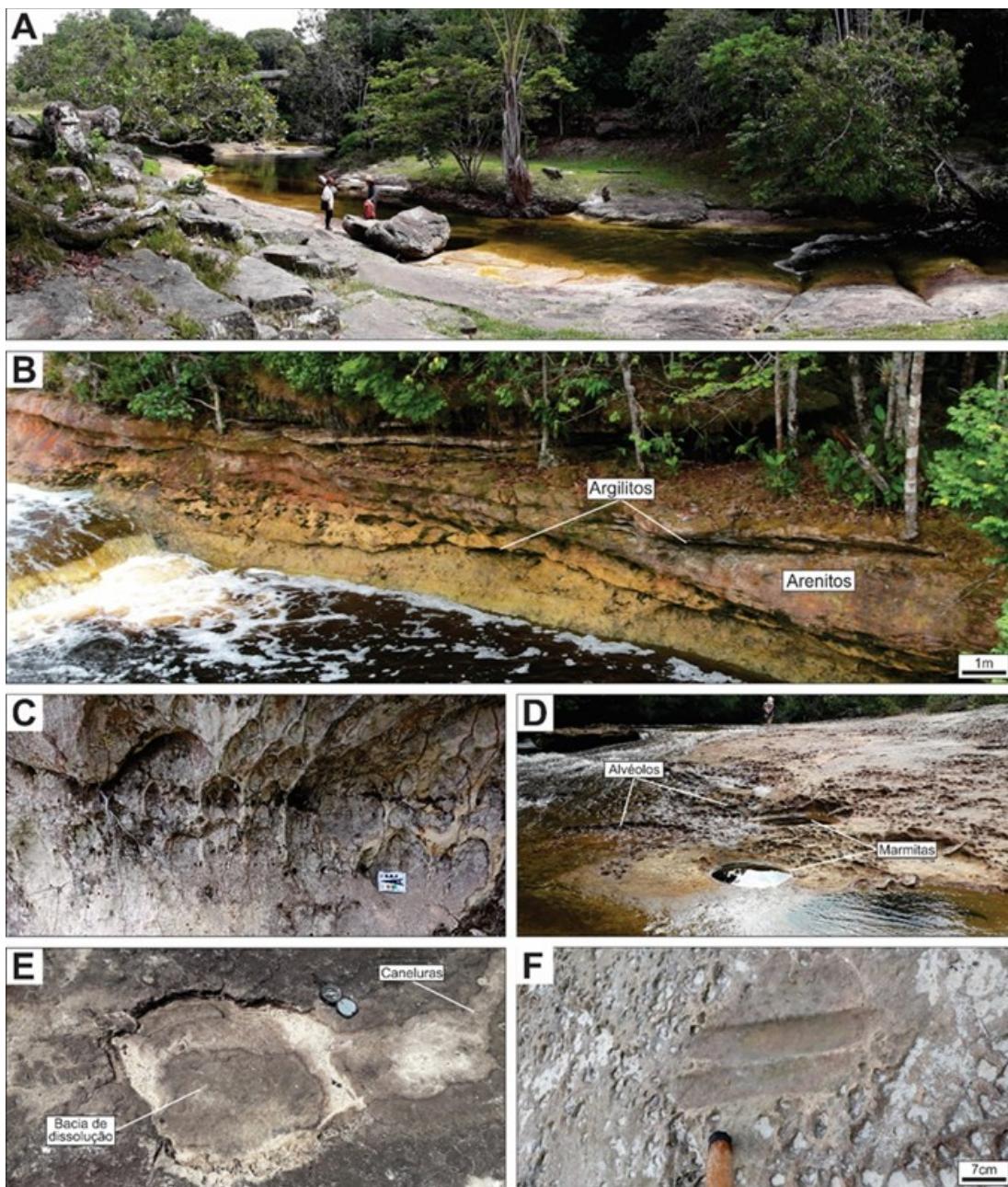


Figura 2. Características do substrato rochoso da Formação Nhamundá nos locais avaliados. A e B) Exposições de arenitos e delgadas intercalações de argilito na Corredeira das Lajes e Cachoeira Princesinha do Urubuí, respectivamente C) *Tafonis* desenvolvidos em superfícies verticalizadas de arenitos na Corredeira das Lajes. D) Alvéolos e marmitas em arenitos na Cachoeira do Mutum. E) Canelura conectada a bacia de dissolução na

Corredeira do Mutum. F) Amoladores fixos subparalelos em forma de canoa na Corredeira das Lajes.



Figura 3. Marmitas do projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas. A e B) Fotografia aérea e panorâmica com destaque para as marmitas com aberturas circulares a elípticas. C) Marmita com abertura elíptica e borda suspensa (seta branca). D) Marmitas com aberturas alongadas desenvolvidas ao longo de fratura (linha tracejada). E) Marmita com borda poligonal limitada por fraturas conjugadas (linha tracejada). Observe a base da marmita preenchida parcialmente com folhas. F) Exemplos de marmitas com bordas retas. G) Marmita com borda inclinada (tipo poltrona). H) Destaque para marmitas com preservação de múltiplas bordas suspensas (seta branca). Cachoeira Princesinha do Urubuí (A), Cachoeira do Mutum (B, H), Corredeira das Lajes (C, D), Corredeira do Urubuí (E, F, G).

Nas bases das marmitas podem estar preservados moedores, como os identificados nas corredeiras das Lajes e do Urubuí, compostos predominantemente por sedimentos arenosos de granulometria fina a média, bem como em menor proporção fragmentos de laterita do tamanho cascalho, material vegetal como folhas, galhos e sementes em decomposição, estes mais comuns nas marmitas do tipo *pan* e com aberturas cilíndricas.

Os dados morfométricos foram obtidos a partir de 123 marmitas concentradas em uma área de cerca de 21 m² em cada localidade e assim distribuídas: 27 na Cachoeira do Mutum, 8 na Corredeira das Lajes e 88 na Corredeira do Urubuí (Tabela 1). A análise morfométrica na Cachoeira Princesinha do Urubuí não pode ser realizada, pois durante a etapa de campo as feições estavam submersas, sendo procedida apenas uma análise geométrica comparativa e visual.

Tabela 1. Valores de média dos parâmetros morfométricos das marmitas obtidas nas exposições analisadas. n: número de medidas, a: eixo maior, b: eixo menor, D: diâmetro médio, h: profundidade, D/h: razão entre o diâmetro e a profundidade e R²: coeficiente de determinação.

Local	Lat./Log.	n	a (m)	b (m)	a/b	D (m)	h (m)	D/h	b/h	R ²
Cachoeira do Mutum	1°58'03.8"S / 59°36'21.8"W	27	2.380	1.735	1.423	2.023	2.365	1.772	1.509	0.734
Corredeira das Lajes	1°59'38.8"S / 60°01'37.3"W	8	0.947	0.597	1.444	0.748	0.348	2.685	2.153	0.624
Cachoeira do Urubuí	2°02'35.9"S / 60°01'46.6"W	88	0.838	0.614	1.595	0.706	0.381	2.637	2.420	0.073

Os histogramas dos valores de média da razão da borda externa (a/b), da forma lateral (b/h) e do diâmetro-profundidade (D/h), considerados os mais importantes parâmetros para a avaliação geométrica (PELLETIER et al., 2015) são apresentados na Figura 4. Os valores a/b variam entre 2.492 e 1.000, 2.300 e 1.172 e, 8.714 e 1.000, com médias de 1.423, 1.444 e 1.595, respectivamente para a Cachoeira do Mutum e corredeiras da Lajes e Urubuí. Em geral, as razões a/b estão entre 1.000 e 2.492 (Cachoeira do Mutum e Corredeira das Lajes), entretanto os valores na Corredeira do Urubuí alcançam razões superiores a 8.00. As curvas de distribuição de a/b para essas localidades são unimodais, com assimetria com tendência positiva para a Cachoeira do Mutum e Corredeira do Urubuí, e tendência negativa para a Corredeira das Lajes.

Os valores da razão da forma lateral (b/h) variam entre 22.941 e 0.271, 4.500 e 0.952 e, 16.333 e 0.394, com médias de 1.509, 2.153 e 2.420, para a Cachoeira do Mutum e corredeiras das Lajes e Urubuí. As respectivas curvas de distribuição apresentam comportamento unimodal, com assimetria positiva. Por sua vez, as razões D/h exibem valores entre 26.995 e 0.418, 5.196 e 1.308 e, 20.018 e 0.593, com médias de 1.772, 2.685 e 2.637, para as três localidades avaliadas. Os valores das razões D/h estão concentrados entre 0 e 5, entretanto destacam-se valores entre 25 e 30 para as feições na Cachoeira do Mutum. Em relação as curvas de distribuição todas são unimodais e apresentam clara tendência de assimetria positiva.

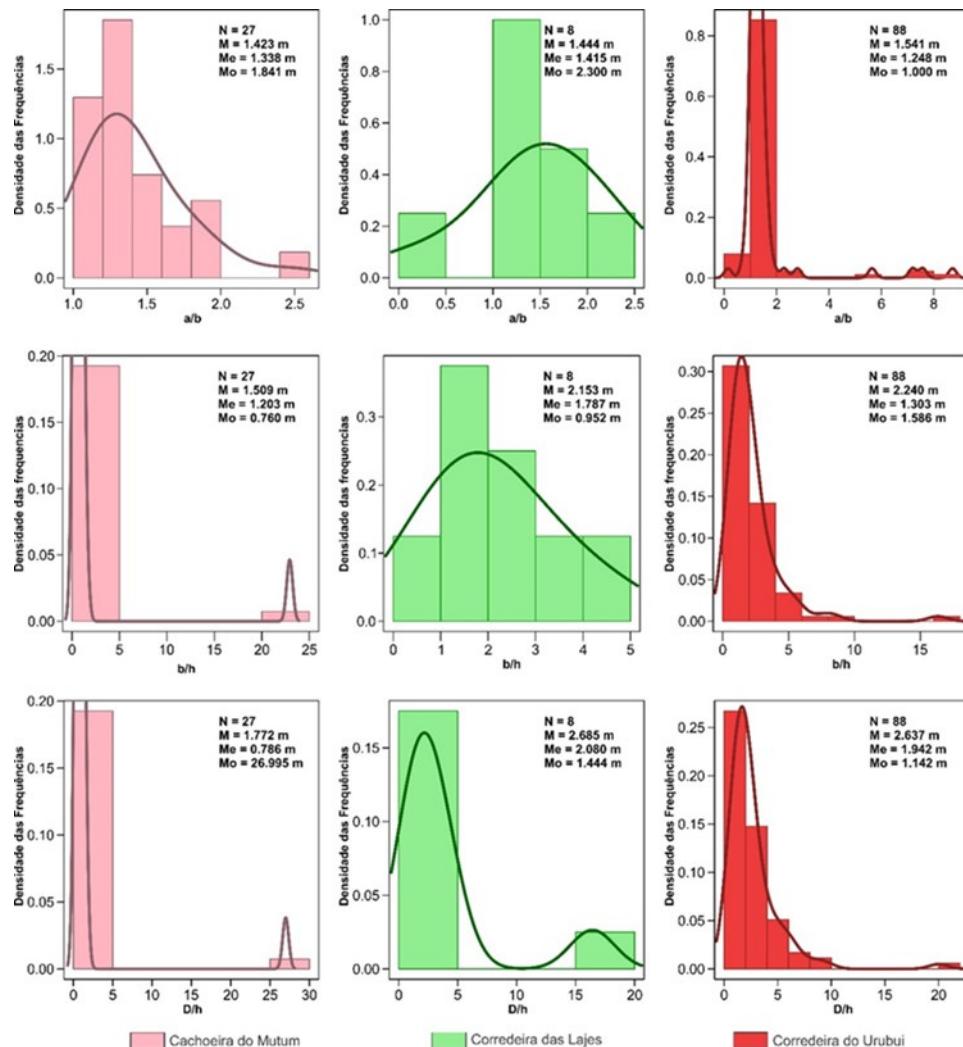


Figura 4. Histogramas dos parâmetros morfométricos de 123 marmitas avaliadas. (a/b) - razão da borda externa, (D/h) - razão diâmetro-profundidade e; (b/h) - razão da forma lateral. N - número de feições medidas, M - média aritmética, Me - mediana, e Mo - moda (Mo).

Além disso, as razões D/h seguem aproximadamente tendências lineares positivas, com valores de R^2 iguais a 0.624 e 0.734, respectivamente para a Cachoeira do Mutum e Corredeira das Lajes (Figura 5). Entretanto, para essas localidades as marmitas (maiores que 1 m de diâmetro médio) e situadas na porção central desviam da tendência linear observada (Figuras 5A e 5B). Por outro lado, para a Corredeira do Urubu a correlação entre diâmetro e a profundidade é quase nula ($R^2 = 0.073$), e os exemplares de marmitas que fogem da tendência linear estão situadas nas margens do rio, muitas delas registrando icnofósseis nas suas paredes (Figura 5C).

Ao reunirmos os dados das 123 feições nas três localidades alvos, observa-se que, embora exista uma relação geral entre diâmetro e profundidade linear, as marmitas de maiores dimensões e/ou que apresentam icnofósseis em suas paredes não

seguem essa regra. Isso é particularmente evidente na Cachoeira do Mutum e na Corredeira do Urubuí, onde é registrada uma dispersão significativa dos pontos nos gráficos (Figura 5D).

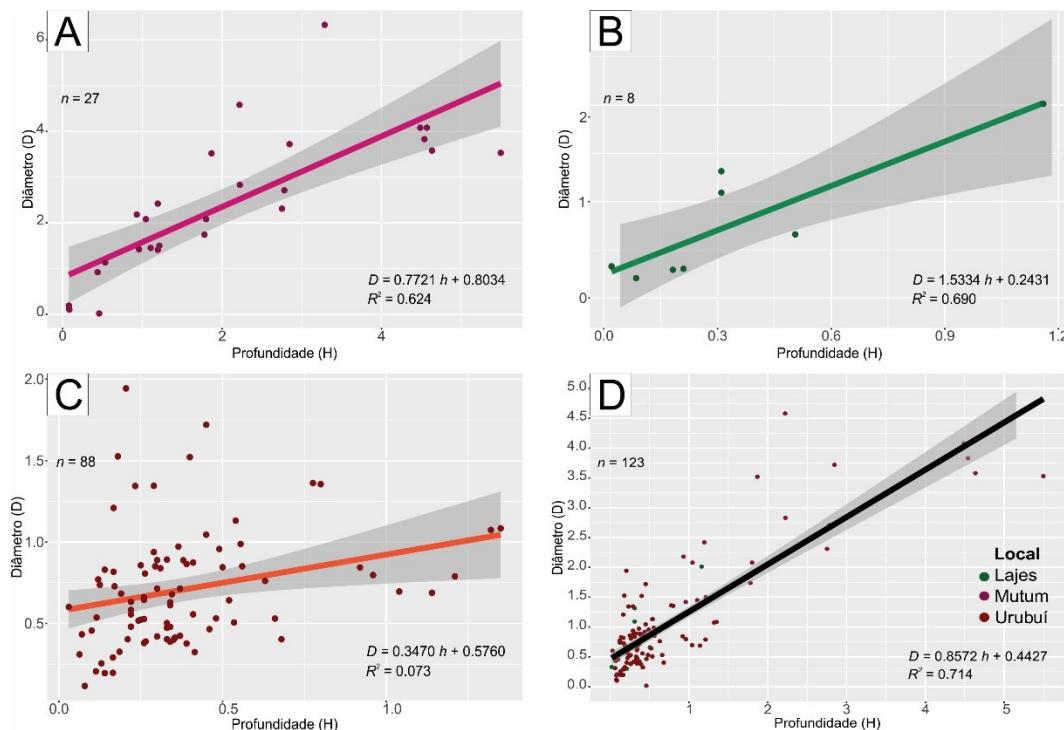


Figura 5. Gráficos de dispersão com as relações entre o diâmetro médio e a profundidade (D/H) das marmitas com suas respectivas linhas de ajuste geral. A) Corredeira do Mutum (cor rosa). B) Corredeira das Lajes (cor verde). C) Corredeira do Urubuí (cor vermelho). D) Integração de todas as 123 feições analisadas (cor preta).

Com respeito as orientações do eixo maior (a) das marmitas com aberturas elípticas, independentemente da direção principal do fluxo da drenagem, seus eixos principais apresentam uma forte orientação NW-SE (entre 320° e 340°Az), com frequências azimutais de 339° (n=26), 355° (n=8) e 321°Az (n=25), respectivamente para a Cachoeira do Mutum e corredeiras das Lajes e Urubuí (Figura 6).

Gênese e Evolução

As marmitas ou jacuzzis naturais do projeto GCA são feições exocársticas desenvolvidas em arenitos finos a médios, encontradas nas proximidades de cachoeiras, quedas d'água e corredeiras. Os valores da razão a/b encontrados são preferencialmente maiores que 1 (perfeitamente circular, a/b = 1) e confirmaram as observações de campo de que as marmitas apresentam aberturas com geometria predominantemente elíptica na superfície horizontal. Em especial, altas razões a/b

encontradas na Corredeira do Urubuí (entre 5.645 e 8.714) estão associadas com marmitas desenvolvidas preferencialmente em interseções ou ao longo de juntas e fraturas que resultam em aberturas elípticas com alta excentricidade. Esta relação positiva é favorecida pela abrasão diferencial e alargamento das anisotropias estruturais ao longo do leito rochoso (RICHARDSON e CARLING, 2005; WOHL, 2008).

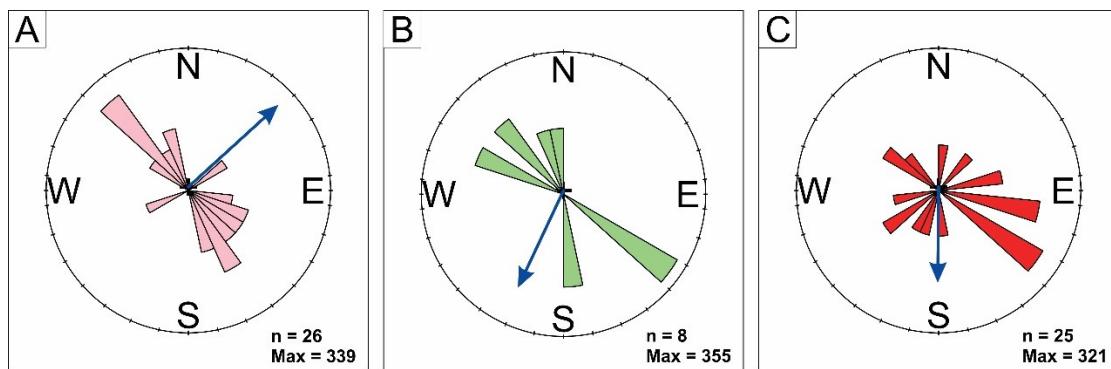


Figura 6. Distribuição dos dados de orientações do eixos principais/eixos maiores (a) das marmitas em relação à direção do fluxo da drenagem local (indicado pela seta azul). A) Cachoeira do Mutum. B) Corredeira das Lajes. C) Corredeira da Urubuí.

O domínio de aberturas elípticas alcança volume superior a 85.23% em todos os locais avaliados, com eixos maiores (a) orientado fortemente na direção NW-SE (320° a 340° Az). Apesar de ser registrado uma tendência de paralelismo entre a orientação dos eixos principais dessas feições e a direção principal das drenagens (ORTEGA et al., 2014; JI et al., 2019), a forte orientação NW-SE representa uma correlação positiva com estruturas conjugadas de zona de cisalhamento atribuídas a neotectônica e orientadas com atitudes entre 300° e 330° Az (SALAZAR et al., 2025). As deformações neotectônicas já foram mapeadas através de estruturas transcorrentes que influenciaram a formação de uma rede de drenagem em treliça, com vales de primeira ordem alinhados (rios Uatumã, Preto da Eva e Urubu), paralelos ao *trend* NW-SE de falhas normais (COSTA et al., 2001; NOGUEIRA e SARGES, 2001; FRANZINELLI e IGREJA, 2002).

Em relação as razões da forma lateral (b/h) foi constatado o predomínio de marmitas do tipo *pan* ($b>h$), em proporções acima de 79.55% nas corredeiras das Lajes e Urubuí, enquanto na Cachoeira do Mutum predominam formas cilíndricas com relação $b < h$ (96.30%). De acordo com Campbell (1997), as razões da forma lateral das marmitas estão relacionadas com inclinação do substrato da geoforma, localização em relação a drenagem e profundidade. As marmitas do tipo *pan* são caracterizadas por pouca profundidade, formadas em substrato homogêneo, com anisotropias estruturais pouco desenvolvidas e com fundo plano, enquanto as do tipo cilíndricas são mais profundas, ocorrem em substrato homogêneo, controladas por anisotropias estruturais mais proeminentes e com o fundo côncavo.

O predomínio de marmitas do tipo *pan* nas corredeiras das Lajes e Urubuí estão ligadas as anisotropias de menor ordem hierárquica local (juntas e fraturas) aliadas ao posicionamento mais marginal em relação a drenagem, gerando geoformas com razões b/h maior que 3. Já para as marmitas, inclusive as jacuzzis naturais encontradas na Cachoeira do Mutum e posicionadas na porção central da drenagem, onde a força de abrasão dos moedores é consideravelmente maior, a presença de estruturas associadas a uma zona de cisalhamento que intersecta a drenagem (SALAZAR et al., 2025), facilita o processo de escavação e produz relações b/h entre 1.100 a 3.000, que caracterizam formas cilíndricas em profundidade. Eventuais formas em poltrona (b/h entre 0.620 e 1.357) encontradas na Cachoeira Princesinha do Urubuí e Corredeira do Urubuí foram atribuídas ao desenvolvimento de geoformas em regiões marginais a drenagem, com inclinações mais pronunciadas, geralmente associadas a cachoeiras e quedas d'água produzidas por falhamentos e ativas apenas em períodos de cheia na região. Alvéolos nas paredes internas dessas marmitas coadunam com a ausência de fluxos turbilhonares necessários para a evolução contínua e alargamento/aprofundamento da geoforma.

As razões D/h médias para as corredeiras das Lajes e Urubuí apresentaram valores similares (2.685 e 2.637, respectivamente), enquanto para a Cachoeira do Mutum os valores médios são 33.41% menores (média de 1.772). Entretanto, para todos os locais avaliados os valores seguem aproximadamente uma tendência linear positiva na relação D/h , como já registrado em outras avaliações morfométricas em marmitas, representando um parâmetro independente da escala espacial (ORTEGA et al., 2014; PELLETIER et al., 2015; JI et al., 2019).

Na Corredeira das Lajes as maiores marmitas estão localizadas na porção central do rio e desviam da tendência linear observada (Figura 3C), com $R^2=0.690$, semelhante ao identificado na Cachoeira do Mutum (Figura 3A), com valores de $R^2=0.624$. Por outro lado, na Corredeira do Urubuí, a correlação entre diâmetro e a profundidade é quase nula ($R^2=0.073$), indicando que o diâmetro é independente da profundidade, aqui interpretado como geoformas orientadas ao longo de juntas, falhas e fraturas. Ademais, outras marmitas que fogem da tendência linear estão situadas nas margens do rio, experimentam exposição e inundação sazonais, muitas delas com feições sedimentares e cársticas preservadas nas suas paredes, como por exemplo icnofósseis, laminações e alvéolos (Figura 3G). Essas feições também representam anisotropias que podem modificar o processo de escavação das geoformas e gerar dispersão da tendência linear esperada para as razões D/h (AYLAR et al., 2022).

A dispersão dos dados obtidos para as marmitas está fortemente relacionada a anisotropias estruturais, mais pronunciada na Cachoeira do Mutum pela ocorrência de uma zona de cisalhamento e suas estruturas conjugadas às jacuzzis naturais (SALAZAR et al., 2025), em comparação com as demais ocorrências (Figura 7). Outros fatores não quantificados ou de difícil obtenção nessa avaliação, como por exemplo, hidrodinâmica local, variação no lençol freático, natureza dos moedores e tensão de cisalhamento basal induzida pela turbulência, também podem ser considerados. Contudo, as tendências lineares observadas para a maioria dos dados coadunam para a interpretação que, tanto o diâmetro quanto a profundidade das marmitas aumentam ao longo do tempo, sendo o aprofundamento geralmente mais rápido do que o alargamento (DHALI, 2019; AYLAR et al., 2022).



Figura 7. Jacuzzis naturais da Cachoeira do Mutum e desenho esquemático do leito arenítico do Igarapé Barreto. Destaques para as fraturas preenchidas parcialmente com quartzo (setas) associadas a uma zona de cisalhamento que controlam o alargamento e aprofundamento das geoformas (em amarelo). Observe alvéolos associados às jacuzzis naturais.

Em relação a tensão de cisalhamento basal induzida pela turbulência, Ji et al., (2019) afirmam que para marmitas com relação $D/h=2$ o poder de escavação e ampliação da geoforma é máximo, diminuindo sua capacidade de erosão não linearmente se a razão D/h estiver fora desse valor. Ou seja, se a razão D/h fugir desse valor crítico a tensão de cisalhamento basal perde a energia e os moedores na base da marmita não são eficientes para o seu alargamento e/ou aprofundamento (PELLETIER et al., 2015; DHALI e SAHANA, 2017; SANE et al., 2020; FLEMING et al., 2025). As médias das razões D/h avaliados para as corredeiras das Lajes (2.685) e Urubuí (2.637) apresentaram valores divergentes para uma tensão de cisalhamento efetiva de formação da geoforma, especialmente as razões encontradas para as jacuzzis naturais na Cachoeira do Mutum (1.772), com valores de h médios de 2.292 m (máximo de 6.330 m), destacados em relação as corredeiras das Lajes (média de 0.353 e máximo de 1.160 m) e Urubuí (média de 0.381 e máximo de 1.350 m).

Apesar de Ji et al., (2019) relatarem que a força abrasiva para marmitas com $D/h=1.0 \pm 0.5$ ser mais eficiente em função da maior capacidade das geoformas reterem em sua base ferramentas de moagem com textura grossa (WHIPPLE et al., 2000), a textura areia fina a média dos moedores encontrados descarta essa possibilidade. Além disso, esses fatos apontam para que as marmitas do projeto GCA estão em estágios evolutivos distintos e parte do seu desenvolvimento está intrinsicamente relacionado com os tipos e escala das anisotropias estruturais de cada localidade.

Em especial, as jacuzzis naturais da Cachoeira do Mutum e a associação com estruturas de uma zona de cisalhamento sugerem estágios de formação mais

evoluídos e com importante contribuição de processos de dissolução. Apesar da dissolução em rochas areníticas não ser comum em condições superficiais, autores como Lazo et al., (2017) e Potysz e Bartz (2024) destacam que a solubilidade da sílica pode ser alcançada quando existe uma contribuição importante de ácidos orgânicos produzidos pelo manto de intemperismo devido a ampla cobertura vegetal sobre rochas sedimentares siliciclásticas, como são notavelmente reconhecidas no território do projeto GCA. Sauro e Wray (2017) afirmam que em rochas areníticas a sílica pode ser dissolvida não apenas a partir dos grãos de quartzo que compõem o arcabouço, mas também diretamente do sobrecrecimento de sílica, especialmente os de baixa temperatura de formação, como a sílica amorfa. Essa característica foi constatada por Salazar et al., (2025) por meio de engolfamento de grãos de quartzo associados a fraturas preenchidas com sesquióxido de ferro em lâminas delgadas de arenitos da Cachoeira do Mutum.

A partir dos dados morfométricos e dos diferentes estágios evolutivos das marmitas foi possível propor a seguinte formação das jacuzzis naturais na Cachoeira do Mutum (Figura 8). Na fase 1 as escavações no substrato arenítico do Igarapé Barreto são iniciadas a partir formas esculpidas incipientes, concentradas em anisotropias estruturais (juntas, falhas e fraturas) que progressivamente passam por processos de alargamento e aprofundamento. Estruturas sedimentares como os traços fósseis podem favorecer o desenvolvimento de alvéolos e, por consequência, de cavidades seminais. Na fase 2 as marmitas aumentam a profundidade formando cadeias de geoformas orientadas com os eixos maiores (a) de acordo com as anisotropias estruturais na porção central das drenagens, onde o fluxo do igarapé é mais intenso, produzindo eventualmente conexões no substrato arenítico. Nessas condições, o contínuo processo de alargamento e aprofundamento resulta na coalescência de marmitas, gerando uma maior abertura (D próximo a 5.4 m) e profundidade (h aproximadamente 3.5 m), até alcançar o limite máximo onde o fluxo turbulento de moedores ainda é eficiente (D/h próximo de 2).

Já na fase 3, a geração de uma falha normal na cachoeira a jusante do local de ocorrência das marmitas provoca o rebaixamento do lençol freático, cria um gradiente hidráulico, bem como fomenta a percolação de águas no sentido descendente. Esses fatores fomentam o aprofundamento das jacuzzis naturais de grande escala por uma combinação de dissolução de elementos do arcabouço do arenito e erosão mecânica posterior. A progressiva reativação da falha normal rebaixa o nível do lençol freático e contribui com múltiplos pulsos de alargamento/aprofundamento, que podem alcançar profundidade máxima compatível com o rejeito atual da falha (em torno de 6 m) e evidenciado pelo registro de bordas telescópicas.

Os sedimentos que foram erodidos durante a formação das jacuzzis naturais de grande escala e que poderiam preencher parcialmente a geoforma são eliminados por suspensão durante eventos de aumento da corrente do igarapé (período de chuvas torrenciais) e/ou eliminados por meio de conexões internas e processo de *piping* associados a propagação das anisotropias estruturais em profundidade.



Figura 8. Fases de evolução de marmitas para jacuzzis naturais da Cachoeira do Mutum, projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas. Na fase 1 as escavações iniciais são favorecidas em anisotropias estruturais e na fase 2 ocorre a coalescência de marmitas em geoformas maiores. Já na fase 3 o rebaixamento cíclico do lençol freático e anisotropias estruturais facilitam o processo de dissolução do substrato rochoso que leva ao aprofundamento e ampliação da geoforma.

Nesse sentido, os dados interpretativos nas marmitas encontradas no território do projeto GCA comprovam que anisotropias estruturais relatadas a neotectônica são controladoras de primeira ordem na ocorrência, distribuição, geometria da abertura, orientação, forma lateral, bem como na fomentação de processos de dissolução que produzem as grandes dimensões encontradas na Cachoeira do Mutum. Além disso, essa análise destaca o papel fundamental de ácidos orgânicos na dissolução em arenitos em superfície e apontam diretamente para a correlação entre a implantação da Floresta Amazônica, provedora de ácidos orgânicos necessários para o processo de dissolução, e o registro de feições cársticas na Formação Nhamundá.

Avaliação da Geodiversidade

A avaliação quantitativa dos locais de interesse geológico (LIGs) por meio da plataforma GEOSSIT produziu uma classificação da relevância para os valores da geodiversidade, com destaque para os quesitos científicos, riscos de degradação, potenciais de uso educativo e turístico, prioridades de proteção, classificação e recomendações de uso sustentável das localidades (Figura 9). Nesse sentido, a avaliação do valor científico (VC) para os LIGs variaram entre 135 (Corredeira das Lajes) e 290 pontos (Cachoeira do Mutum), com destaque para pontuações máximas nos critérios representatividade, integridade e diversidade geológica para as cachoeiras do Mutum e Princesinha do Urubuí. Além disso, estágios mais evoluídos de formação das jacuzzis naturais, garantiram a Cachoeira do Mutum pontuação máxima no critério raridade.

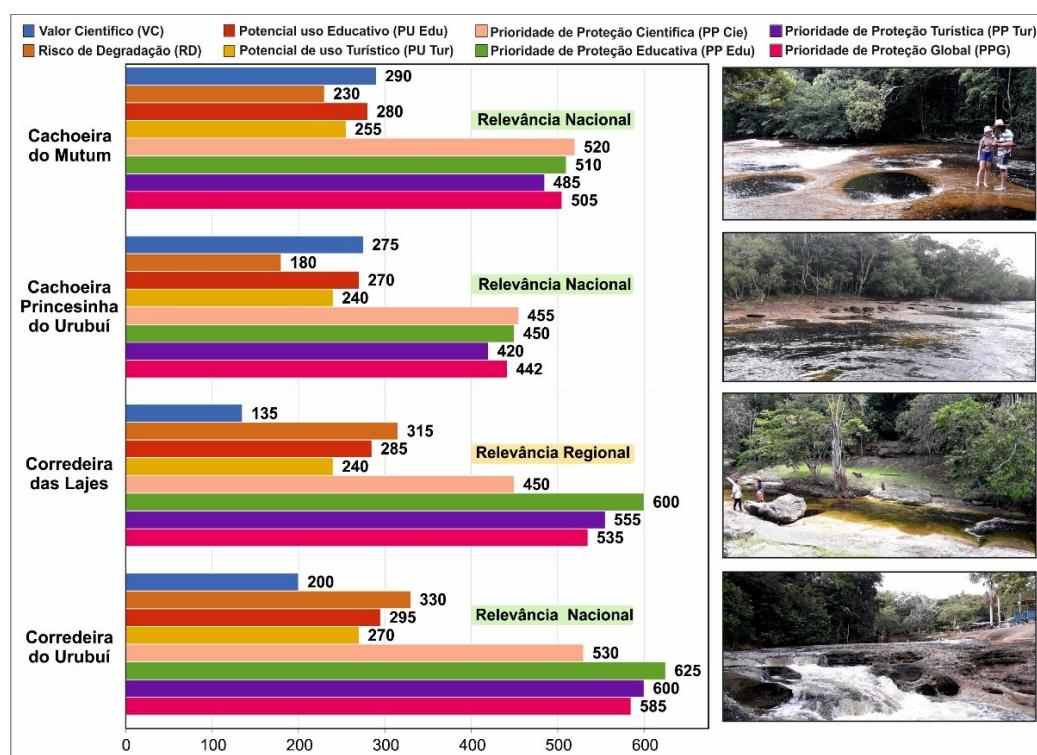


Figura 9. Avaliação quantitativa da geodiversidade nos pontos com marmitas do projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas em termos de valor científico, risco de degradação, bem como potenciais de uso e proteção científico, educativo e turístico. A análise permitiu classificar as cachoeiras do Mutum e Princesinha do Urubuí, assim como a Corredeira do Urubuí como geossítios de relevância nacional. Por sua vez, a Corredeira das Lajes foi classificada como sítio da geodiversidade de relevância regional.

Por outro lado, no critério local tipo os LIGs não pontuaram. Vale ressaltar que o fato dos LIGs integrarem APAs (Áreas de Proteção Ambiental) que visam a proteção do meio natural e dos atributos estéticos e culturais, em áreas com certa ocupação humana, através do fomento de condições para a realização de pesquisas integradas (BRASIL, 2006), facilita o acesso às exposições. Assim, as baixas pontuações nesse

item (< 300 pontos) para alguns LIGs não significa que não possuam importância, mas sim, que podem não ter sido, até o momento, alvos de atenção da comunidade científica (BRILHA, 2016).

Na avaliação do risco de degradação (RD) os locais apresentaram o conceito alto para as corredeiras das Lajes (315 pontos) e Urubuí (330 pontos), médio e baixo, para as cachoeiras do Mutum (230 pontos) e Princesinha do Urubuí (180 pontos), respectivamente. Os critérios acessibilidade e a proximidade de áreas com potencial para degradação foram fundamentais para aumentar a potencialidade de deterioração dos elementos da biodiversidade em LIGs classificados com alto risco. Por sua vez, o potencial de uso educativo (PUE) apresentou pouca variação, entre 270 (Corredeira do Urubuí) e 295 pontos (Cachoeira Princesinha do Urubuí). Os critérios como a logística, a associação com outros valores ecológicos e culturais, bem como o potencial didático em diferentes níveis de ensino contribuíram para os elevados valores. Entretanto, critérios como segurança e densidade não foram bem avaliados, o primeiro em especial, relacionado a ausência/escassez de placas informativas para atividades educativas.

As pontuações obtidas para o potencial de uso turístico (PUT) variaram entre 240 (Cachoeira Princesinha do Urubuí e Corredeira das Lajes) e 270 pontos para a Corredeira do Urubuí. Neste índice destacaram-se os critérios máximos para potencial de divulgação perceptíveis para todos os tipos de público e a proximidade com zonas recreativas, com LIGs localizados a menos de 5 km de distância destas. Consequentemente, os resultados das avaliações quantitativas apontaram para a Prioridade de Proteção Global (PPG), Prioridade de Proteção Educativa (PP Edu); Prioridade de Proteção Turística (PP Tur) e a Prioridade Científica (PP Cie) a necessidade de recomendação de que medidas para proteção da biodiversidade sejam tomadas de médio a curto prazo para a Cachoeira do Mutum (PPG =505; PP Edu = 510; PP Tur = 485; PP Cie = 520), Cachoeira Princesinha do Urubuí (PPG =442; PP Edu = 450; PP Tur = 420; PP Cie = 455), Corredeira das Lajes (PPG =535; PP Edu = 600; PP Tur = 555; PP Cie = 450) e Corredeira do Urubuí (PPG =585; PP Edu = 625; PP Tur = 600; PP Cie = 530).

De acordo com a plataforma GEOSSIT, LIGs com valor científico acima de 200 pontos são considerados geossítios (200 e 300 - relevância nacional; > 300 - relevância internacional), enquanto os abaixo de 200 pontos são denominados sítios da biodiversidade. Assim, a avaliação quantitativa classificou as cachoeiras do Mutum (VC = 290), Princesinha do Urubuí (VC = 275) e a Corredeira do Urubuí (VC = 200) como geossítios de relevância nacional. Já a Corredeira das Lajes (VC = 135) foi classificada como um sítio da biodiversidade com relevância regional. Dentre os geossítios e sítios da biodiversidade avaliados para o maior potencial de uso educativo (PUE) e turístico (PUT) destacam-se a Cachoeira Princesinha do Urubuí e a Corredeira do Urubuí, esta última também com o maior risco de degradação (RD).

Em especial, a mais recente atualização do inventário e quantificação da biodiversidade via plataforma GEOSSIT do projeto GCA realizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SOUZA e RIBEIRO, 2024), também classificou a Cachoeira do Mutum como geossítio. No entanto, a somatória dos valores científicos (245 pontos), educacionais (265 pontos), turísticos (280 pontos) e risco de degradação (115 pontos)

foram significativamente menores em relação a esse estudo. Este fato pode ser explicado, uma vez que a avaliação qualitativa realizada foi de base temática nas principais ocorrências de feições exocársticas (marmitas), enquanto a da SGB foi levado em consideração LIGs que poderiam representar a diversidade das unidades geológicas por meio dos principais atrativos turísticos do território. Nesse sentido, análises temáticas para inventariação e quantificação da geodiversidade procedida aqui forneceram uma maior base de dados e, por consequência melhores ranqueamentos dos valores da geodiversidade em relação a avaliações generalizadas.

Percepção da Geodiversidade por Guias de Turismo

O território do projeto GCA conta oficialmente apenas com uma associação de guias de turismo, a Associação de Guias de Selva (AGUIAS), que até 2024 reunia 52 profissionais residentes e atuantes em Presidente Figueiredo, com a proposta de fornecer serviços de guiamento turístico nas cachoeiras e feições cársticas. Assim, foram estabelecidos os primeiros contatos com o presidente da AGUIAS para a troca de experiências e a proposição de um conjunto de atividades para valorização, preservação e uso sustentável das marmitas. As atividades incluíram uma roda de conversa, o curso sobre a geodiversidade do projeto GCA, complementado com uma visita técnica às feições cársticas da Formação Nhamundá (Figura 10).

As atividades contaram com a participação majoritária de associados homens, com idade entre 25 e 44 anos, com grau de escolaridade entre o ensino fundamental e superior completo. Os 16 participantes, sendo 4 destes guias de turismo da AGUIAS, relataram que exercem a atividade de guias entre 5 e 15 anos na região, bem como afirmaram que não era a sua única fonte de renda. Durante a abertura dos diálogos ficou claro que o conceito de Geoparque está consolidado e todos consideram de extrema importância a conservação dos atributos geológicos para a sustentabilidade do município nos seguimentos de turismo, lazer, educação, pesquisa científica e conservação ambiental. Entretanto, alguns associados ainda desconheciam o projeto de criação do GCA. Em relação às atividades educativas sobre a geodiversidade local, relataram a participação em conversas e palestras, enquanto atividades como workshops, aulas e cursos foram menos frequentes.

Os associados utilizam como principais locais para o serviço de guiamento cachoeiras, corredeiras, cavernas, grutas, formações rochosas incomuns, bem como as marmitas, destacando a importância dessas geoformas como exemplo de patrimônio geológico e atrativo turístico. Além disso, relataram que as marmitas nos LIGs estudados são requisitados para visitação por turistas devido a: estética considerada única e impressionante, especialmente as cachoeiras do Mutum e Princesinha do Urubui; a balneabilidade dos locais e; devido ao distanciamento de centros urbanos. Quando questionados por turistas a respeito da formação das marmitas, os guias relatam que as geoformas foram geradas pela interação entre a água e fragilidades no arenito, entretanto não fornecem informações sobre processos

de evolução de marmitas para jacuzzis naturais de grande escala, bem como outras feições exocársticas encontradas nos LIGs.



Figura 10. Atividades desenvolvidas com os guias de turismo residentes no território do projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas. A e B) Roda de conversa e curso sobre a geodiversidade local. C e D) Visita técnica nas feições cársticas da Formação Nhamundá.

Entre os associados o conhecimento científico sobre as geoformas em destaque é visto como fundamental para fomentar o turismo, a conservação do meio natural e melhorar aspectos da educação ambiental e geológica. Em relação a ações para a preservação das marmitas, foram indicadas a instalação de placas educativas e interpretativas, bem como a sugestão de continuidade de treinamentos técnicos sobre as feições exocársticas da Formação Nhamundá.

Em especial, foi visto com preocupação pelos associados a atuação de guias de turismo não residentes no território do projeto GCA e colaboradores de empresas de turismo de Manaus. As principais motivações foram a preocupação com a qualidade das informações fornecidas aos turistas, a perda de potenciais clientes e a segurança, uma vez não conhecem o território, potencializando os riscos, como acidentes com animais e desorientação nas trilhas de acesso aos LIGs.

Em seguida, foi realizado o curso “Utilização de Carstes no Fortalecimento do Geoturismo no Geoparque Cachoeiras do Amazonas”, que destacaram os temas: Geoparques, geoconservação e geoturismo, a geologia do GCA, o sistema cárstico,

feições exocársticas e, caracterização e origem das marmitas. As atividades foram finalizadas com uma visita técnica para duas atrações turística, a Caverna do Maruaga e a Cachoeira do Mutum, onde foram apresentadas e discutidas com os guias algumas feições cársticas da Formação Nhamundá, como por exemplo, cavernas, grutas, marmitas, que compõem a temática da geodiversidade local avaliada.

Diagnóstico

O amplo conhecimento dos associados a respeito do conceito Geoparque e do projeto GCA foi interpretado como resultado de iniciativas recentes de valorização e promoção da geodiversidade local por meio de atividades desenvolvidas pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e o SGB. Atividades como cursos, palestras, avaliações sociais nas comunidades, inventariação e quantificação da geodiversidade nas principais atrações turísticas da região, que muitas vezes contaram com apoio logístico e operacional da AGUIAS, ajudaram na sensibilização e conscientização da importância da conservação do meio natural para o desenvolvimento sustentável via geoturismo.

Destaca-se entre as contribuições da UFAM a realização do 2º Workshop (Con)ciênciia Cidadã em junho de 2024, que visou a promoção de abordagens colaborativas e participativas para o avanço da ciência e do desenvolvimento sustentável da região por meio da realização de palestras, oficinas e diálogos participativos a respeito do geoturismo e a geodiversidade. Mais recentemente, a iniciativa de visita a comunidades locais para dialogar a respeito da geodiversidade, aliado a doação de coleção de amostras da geologia local realizada pelo Programa Especial de Tutoria (PET) do curso de Geologia também tem recebido boa receptividade das comunidades contempladas pelo projeto.

Devido a recente inclusão de atividades de extensão comunitária nas disciplinas dos cursos de graduação da UFAM, a tendência é de aumento da promoção e valorização da geodiversidade local durante prática de campo do curso de geologia, tradicionalmente realizadas no território do projeto GCA. Além disso, os próprios resultados dessa pesquisa sobre a caracterização e evolução das marmitas para jacuzzis naturais podem ser utilizados como tema para essas atividades.

A similaridade entre as respostas dadas aos turistas pelos guias a respeito da formação das marmitas e as fornecidas nessa pesquisa foram associadas ao nível de escolaridade dos profissionais, ao potencial didático dos LIGs, bem como ao conhecimento empírico e tradicional adquirido por meio das suas vivências junto ao meio natural (ALVES et al., 2016; HENRIQUES et al., 2022). Apesar da reconhecida importância do conhecimento tradicional no entendimento e edificação de saberes do meio natural estar mais atrelada ao escopo da biodiversidade amazônica, no campo da geodiversidade e do patrimônio imaterial as contribuições ainda são incipientes e normalmente associadas a lugares sagrados (KIERNAN, 2015; BASÍLIO e LIMA, 2024).

Como destacado por Alves et al., (2016), a utilização do conhecimento empírico/tradicional dos guias manifesta-se como um potencial a ser explorado pelo geoturismo local, no sentido de caracterizar e valorizar o patrimônio imaterial. Nesse sentido, o conhecimento tradicional, experiências e vivências dos guias, renovadas dia a dia por meio de suas atividades com os turistas, devem ser levados em consideração na construção de estratégias eficientes de geoconservação, geoeducação e geoturismo atreladas ao território do GCA, conforme destacado por Lima et al., (2024) e Pãozinho e Nascimento (2024).

Dentre os LIGs estudados, a maior procura para visitação das cachoeiras do Mutum e Princesinha do Urubuí para atividades turísticas está ligada a beleza cênica das geoformas, a ocorrência de marmitas, a balneabilidade e o distanciamento da cidade para acessar essas localidades. Essas respostas aliadas aos potenciais científico, educacional e turístico dos geossítios determinados pela avaliação quantitativa, reforçam a necessidade da produção e instalação de placas de acesso e com informações qualificadas sobre as marmitas, no sentido de promover a conservação e preservação da geodiversidade local.

Por outro lado, a atuação de guias de turismo não residentes no território do projeto GCA configura situação de conflito com os associados da AGUIAS e com a própria ideia de Geoparque, uma vez que visam a conservação do patrimônio natural e cultural em intrínseca associação com a melhoria das condições socioambientais da população que habitam no território (BRILHA et al., 2018; FLEIG et al., 2022). Assim, é recomendado para a Prefeitura de Presidente Figueiredo e o futuro comitê gestor do GCA a proposição, em conjunto com os grupos de interesse (*stakeholders*), soluções participativas e inclusivas visando o respeito as diretrizes de desenvolvimento sustentável do conceito Geoparque.

De acordo com Pãozinho e Nascimento (2024), guias de turismo e condutores possuem um papel fundamental no despertar de visitantes para a geoconservação, influenciando o processo de entendimento sobre a geodiversidade do destino geoturístico, auxiliando na mitigação de impactos negativos sobre o patrimônio geológico. Quando munidos de informações técnicas mais precisas sobre as marmitas, potencializam o poder de disseminação de informações mais qualificadas, bem como o da importância da preservação dessa geoforma para o território. Em especial, informações sobre a evolução das marmitas até a escala de jacuzzis naturais, observadas através dos geossítios e sítios da geodiversidade, podem ser transmitidas aos turistas reforçando o papel da neotectônica na formação das cachoeiras, no processo de carstificação da Província Espeleológica Rio Urubu e da própria formação do relevo amazônico. Assim, as atividades realizadas aprofundaram o entendimento sobre esse grupo de interesse e serviu para nortear futuras ações para promoção e geoconservação das marmitas nos LIGs avaliados.

Estratégia para Promoção das Marmitas

A estratégia apresentada para a proposição de material de divulgação da geodiversidade e do geopatrimônio locais foi escolhida de acordo com os resultados

das análises anteriores, visando a valorização, conservação e uso sustentável das marmitas encontradas no projeto GCA. Como apontado no diagnóstico com os guias de turismo do território, a idealização e instalação de painéis interpretativos nos locais avaliados seria uma excelente iniciativa para fomentar o uso sustentável das geoformas de interesse por meio da geoeducação. De forma geral, a instância do poder público municipal responsável pela implementação de políticas de manejo sustentável do meio natural é a Secretaria do Meio Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura de Presidente Figueiredo (SEMMAS).

De acordo com o disposto no Art. 32º, da Lei nº 699/2013, dentre as finalidades da SEMMAS, incluem-se: formular políticas e diretrizes de desenvolvimento ambiental (§1º); planejar, coordenar, executar e controlar, programas que visem à proteção, recuperação, conservação e melhoria da qualidade ambiental (§2º); administrar o patrimônio natural, disciplinando o uso, o acesso e a preservação, visando à proteção ambiental (§3º); bem como estimular a participação da comunidade no processo de gestão ambiental, assegurando a representação de todos os segmentos sociais no planejamento da Política Ambiental do Município (§23º). Assim, a partir da publicação do Decreto Municipal nº 1301/2011 que instituiu o GCA, a SEMMAS instalou, sob a consultoria do SGB, painéis interpretativos em alguns geossítios já cadastrados na plataforma GEOSSIT, como por exemplo, nas cachoeiras da Porteira e Pedra Furada. Entretanto, as condições climáticas locais e o material escolhido (lonas) não garantiram a durabilidade da iniciativa.

Em 2022 e sob a consultoria de pesquisadores do Departamento de Geociências da UFAM, a SEMMAS voltou a instalar painéis interpretativos com informações da geodiversidade no geossítio Cachoeira das Orquídeas, sob sua administração, destacando o registro de traços fósseis nos arenitos da Formação Nhamundá. Nas novas placas as informações a respeito do geossítio estão protegidas por vidro, que isolam as geoinformações exploradas das intempéries e as tornam mais duráveis. Nesse sentido, o secretário da SEMMAS foi procurado e tomou ciência sobre o contexto, a importância, as principais conclusões e qual foi a estratégia de geoconservação e geoeducação escolhida junto aos guias de turismo. Em contrapartida, o secretário da SEMMAS reforçou a cooperação da Prefeitura com atividades de promoção e conservação de elementos da geodiversidade local e, sugeriu a padronização das geoinformações apresentadas, disponibilizando o layout do modelo já instalado.

Foram escolhidos inicialmente dois geossítios definidos nessa pesquisa para a produção dos protótipos de painéis interpretativos: a Corredeira do Urubuí e a Cachoeira do Mutum. A escolha dos geossítios foi baseada nos aspectos de que a primeira representa o balneário mais popular da região, ser administrado pela SEMMAS e apresentar o maior poder de difusão da geoinformação, e a segunda por conter os exemplos mais evoluídos das geoformas exocársticas em destaque. As geoinformações do modelo de painel interpretativo disponibilizado pela SEMMAS foram avaliadas e, com o auxílio dos guias de turismo, adaptadas para destacar as feições exocársticas temáticas de forma simples e lúdica, facilitando a compreensão para todas as faixas de escolaridade.

Nesse sentido, os protótipos dos painéis interpretativos idealizados contêm informações como: localização do geossítio no contexto da Bacia Sedimentar do Amazonas, a localização dos outros geossítios e sítios da geodiversidade onde ocorrem os principais exemplares das marmitas, um ortomosaico de imagem aérea destacando o geossítio, caracterização e imagens das principais estruturas da rocha, localização das geoformas de interesse, modo de formação das marmitas, bem como informações de segurança e risco para o melhor proveito dos geoturistas (Figura 11).



Figura 11. Exemplo de painel interpretativo para uso sustentável de jacuzzis naturais no projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas para o geossítio Cachoeira do Mutum.

O painel foi desenvolvido com o objetivo sensibilizar geoturisticamente os visitantes sobre a geodiversidade local e as jacuzzis naturais, promovendo a valorização do patrimônio geológico e incentivando práticas de geoconservação. Sua disposição estratégica em um ponto de visitação contribui para a experiência interpretativa autônoma, sem a necessidade de acompanhamento constante por guias. O produto adota uma paleta de cores predominantemente amarela e verde, remetendo à natureza e ao ambiente geológico da região. O fundo bege e as caixas de texto em tons contrastantes ajudam na legibilidade das informações.

O título principal, "Jacuzzis Naturais do GCA: Cachoeira do Mutum" está em negrito e destacado na parte superior do painel, facilitando a identificação do tema e de seções bem definidas, como "Destques", "Outras Estruturas", "Como as marmitas se formam?" e "Um pouco de geologia", que organizam o conteúdo em categorias intuitivas. O texto apresentado possui informações técnicas sobre as formações

geológicas, como marmitas, jacuzzis naturais, bacias de dissolução, caneluras, alvéolos e feições estruturais, bem como explica a geologia local, destacando a Formação Nhamundá como a unidade geológica principal.

O painel também fornece alertas de segurança, como "Caso não saiba nadar, não mergulhe nas feições!", além de recomendações de conservação. Também foram incorporadas fotografias de campo para ilustrar as feições geológicas, identificadas com números, descrições explicativas e o mapa geológico no canto superior direito que situa a localidade da Cachoeira do Mutum dentro do projeto GCA.

Os protótipos de painéis interpretativos foram disponibilizados para os administradores legais dos geossítios e, após instalados, têm o poder de auxiliar guias de turismo na apresentação das geoinformações dos geossítios por meio de sinalizações e recursos interpretativos para enriquecer a experiência dos visitantes. Para além disso, promovem a geodiversidade local, a sensibilização da população e turistas sobre a importância da preservação das marmitas e dos recursos naturais que integram o futuro geoparque GCA.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dados morfométricos a partir de 123 feições estudadas indicam a dominância de aberturas elípticas, com forma lateral do tipo *pan* ($b>h$), com tendência linear positiva na relação D/h e fortemente orientadas nas direções 320° a 340° Az, compatíveis com os principais esforços neotectônicos da região. A origem e evolução de marmitas para jacuzzis naturais de grande escala podem ser reunidas em 3 fases: na primeira fase depressões iniciais são formadas isoladamente em anisotropias estruturais no leito do igarapé (p.e fraturas e falhas); na segunda fase novas marmitas se concentram ao longo das anisotropias, coalescem gerando geoformas maiores, menos numerosas e que se aprofundam até o limite de eficiência erosiva da tensão cisalhante dos moedores; já na terceira fase a geoforma se aprofunda fomentada por processos de dissolução de elementos do arcabouço do arenito.

Em especial, na Cachoeira do Mutum o aprofundamento das jacuzzis naturais foi intensificado pelo rebaixamento progressivo do lençol freático. As fases evolutivas propostas podem ser constatadas por geoturistas ao visitar os locais avaliados nessa pesquisa, com destaque para as geoformas mais evoluídas do projeto GCA, representadas pelas jacuzzis naturais da Cachoeira do Mutum.

A avaliação da geodiversidade revelou potencial científico, educacional e turístico nos principais locais de ocorrências de marmitas e jacuzzis naturais, classificando-os como geossítios de relevância nacional (Cachoeira do Mutum, Cachoeira Princesinha do Urubuí e Corredeira do Urubuí) e sítio da geodiversidade (Corredeira das Lajes). A interação com um dos mais eficientes grupos de interesse do território para promoção e difusão da geoinformação, os guias de turismo, resultou na proposição de painéis interpretativos explorando informações da geodiversidade temáticos das feições exocársticas da Formação Nhamundá.

Por fim, a utilização de geoformas exocársticas comuns e associadas aos principais atrativos turísticos do município de Presidente Figueiredo, tem o poder para despertar a conscientização e importância da utilização sustentável do meio natural entre os habitantes do território e turistas, bem como para reforçar políticas inerentes a futura implementação do GCA.

AGRADECIMENTO

Essa pesquisa faz parte do Projeto Entre Pedras e Mergulhos vinculado as atividades do Programa de Desenvolvimento da Pós-graduação – Amazônia Legal (PDPPG-AL) financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa de mestrado, as valorosas contribuições dos revisores e ao Programa de Pós-graduação em Geociências (PPGGeo/UFAM) pela infraestrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J.; MEDEIROS, W.; TARGINO, D. Geodiversidade e Geoturismo no município de Apodi/RN: o caso do Lajedo de Soledade. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 2, p. 1201 – 1210, 2016. DOI: 10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10586
- ALVES, J.; MEDEIROS, W. Inventariação do patrimônio geomorfológico cárstico do Parque Nacional da Furna Feia (RN, Brasil) como proposta para uso geoturístico. *Journal of Geography and Spatial Planning*, v. 20, n. 1, p. 122 – 148. 2020. DOI: 10.17127/got/2020.20.006
- AYLAR, F.; UZUN, A.; ZEYBEK, H.; GÜRGÖZE, S.; DÜNDER, E. Formation and Geostatistical Analysis of Eğribük Creek Potholes, Samsun, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 15, n. 3, p. 238, 2022. DOI: 10.1007/s12517-022-09526-0
- BASILIO, C.; LIMA, R. Geologia dos Lugares Sagrados dos Povos Umükori Mahsã (Desana) e Yepamahsã (Tukano) em São Gabriel Da Cachoeira, Amazonas, Brasil. *Revista Geotemas*, v. 14, p. e02413-e02413, 2024. DOI: 10.33237/2236-255X.2024.6011
- BATTIST, I.; SMOLSKI, F. Software R: Análise estatística de dados utilizando um programa livre. Bagé: Editora Faith, 2019. 173p.
- BENTO, L.; NAZAR, T. Parque Nacional Serra da Canastra (Minas Gerais-Brasil): proposta de painel interpretativo. *Caderno de Geografia*, v. 30, n. 1, p. 112 – 135, 2020.
- BRASIL. **Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006.** Regulamenta o art. 21 da Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília, Presidência da República, 2006.

BRILHA, J. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: A Review. *Geoheritage*, v. 8, n. 2, p. 119 – 134, 2016. DOI: 10.1007/s12371-014-0139-3

BRILHA, J.; GRAY, M.; PEREIRA, D.; PEREIRA, P. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science and Policy*, v. 86, n. 19 – 28, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.05.001

CAMPBELL, E. Granite landforms. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, v. 80, p. 101 – 112, 1997.

CARVALHO, I.; HENRIQUES, M.; CASTRO, A. Promotion of the Geological Heritage of Araripe Unesco Global Geopark, Brazil: the Casa da Pedra Reference Center. *Geoheritage*, v. 12, p.17, 2020. DOI: 10.1007/s12371-020-00452-9

CATANA, M.; BRILHA, J. The role of UNESCO global geoparks in promoting geosciences education for sustainability. *Geoheritage*, v. 12, n. 1, p. 1, 2020. DOI: 10.1007/s12371-020-00440-z

COSTA, J.; BEMERGUY, R.; HASUI, Y; BORGES, M. Tectonics and paleogeography along the Amazon River. *Journal of South American Earth Sciences*. v.14, n. 4, p. 335 – 347, 2001. DOI: 10.1016/S0895-9811(01)00025-6

CUERVO, H.; SOARES, E.; CAPUTO, M.; DINO, R. Sedimentology and stratigraphy of new outcrops of Silurian glaciomarine strata in the Presidente Figueiredo region, northwestern margin of the Amazonas Basin. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 85, p. 43 – 56, 2018. DOI: 10.1016/j.jsames.2018.04.023

CUNHA, P.; GONZAGA, F.; COUTINHO, L.; FEIJÓ, F. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, p. 227 – 251, 2007.

DANTAS, M.; MAIA, M. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus: CPRM, 2012. 275p.

DHALI, M. Dynamic evolution of riverbed potholes in the granitic bedrock of Chota Nagpur Plateau, middle part of Subarnarekha River basin, India. *Journal of Hydrology*, v. 571, p. 819 – 836, 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.02.022

DHALI, M.; SAHANA, M. Spatial variation in fluvial hydraulics with major bed erosion zone: a study of Kharsoti river of India in the post monsoon period. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 10, p. 1 – 12, 2017. DOI: 10.1007/s12517-017-3205-8

FERREIRA, D.; VALDATI, J. Geoparks and Sustainable Development: Systematic Review. *Geoheritage*, v. 15, p. 6, 2023. DOI: 10.1007/s12371-022-00775-9

FLEIG, R.; NASCIMENTO, I.; VALDATI, J. Geoparques: desenvolvimento sustentável e agenda 2030. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 42, p. e193925-e193925, 2022. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.193925

FLEMING, M.; BOOTSMAN, C.; MOLL, N.; BRAND, L. Pothole formation on Rock Window Mesa, Chinle valley, AZ. *Geomorphology*, v. 468, p. 109498, 2025. DOI: 10.1016/j.geomorph.2024.109498

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Modern sedimentation in the lower Negro river, Amazonas state, Brazil. *Geomorphology*, v. 44, n. 3-4, p. 259 – 271, 2002. DOI: 10.1016/S0169-555X(01)00178-7

GARCIA, M.; QUEIROZ, D.; MUCIVUNA, V. Geological diversity fostering actions in geoconservation: An overview of Brazil. *International Journal of Geoheritage and Parks*, v. 10, n. 4, p. 507 – 522, 2022. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2022.08.008

GRAY, M.; GORDON, J.; BROWN, J. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association*, v. 124, n. 4, p. 659 – 673, 2013. DOI: 10.1016/j.pgeola.2013.01.003

HENRIQUES, D.; ALVES, A. Geodiversidade e Geoturismo no Semiárido Potiguar: Mapeamento De Geossítios Em Alexandria-Rn, Brasil. *GEOgraphia*. v. 15, n. 54, p. e49065, 2023. DOI: 10.22409/GEOgraphia2023.v25i54.a49065

HENRIQUES, D.; QUEIROZ, L.; QUEIROZ, F.; MEDEIROS, J.; MEDEIROS, W. Geodiversidade no horizonte popular: da cultura ao patrimônio geomorfológico e paisagístico de Serrinha dos Pintos-RN. *Revista de Geomorfologia*. v. 3, n. 2, p. 1 – 22, 2022. DOI: 10.48025/ISSN2675-6900.v3n2.2022.160

JI, S.; ZENG, W.; LE, L.; MA, Q.; FENG, J. 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*, n. 173, p. 374 – 385, 2019. DOI: 10.1016/j.jseaes.2019.01.037

KIERNAN, K. Landforms as sacred places: implications for geodiversity and geoheritage. *Geoheritage*, v. 7, n. 2, p. 177 – 193, 2015. DOI: 10.1007/s12371-014-0128-6

KÖPPEN, W. Climatología: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 479p.

KUHN, C.; SANTOS, F.; JESUZ, C.; KOLYA, A.; REIS, F. Public Policies for Geodiversity in Brazil. *Geoheritage*, v. 14, p. 74, 2022. DOI: 10.1007/s12371-022-00705-9

LAZO, D.; DYER, L.; ALORRO, R. Silicate, phosphate and carbonate mineral dissolution behaviour in the presence of organic acids: A review. *Minerals Engineering*, v. 100, p. 115-123, 2017. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.10.013

LIMA, R.; BARBOSA, R.; LIMA, V.; GARCIA, M.; COSTA, S.; JESUS, E.; SANTOS, V.; MAZOCA, C.; SOUZA, I.; SOUZA, A.; SANTOS, C.; VENÂNCIO, D.; JESUS, J. Estratégias De Geoconservação Em Áreas Protegidas No Baixo Rio Negro: Abordagem Preliminar. *Revista Geonorte*, v. 15, n. 48, 2024. DOI: 10.21170/geonorte.2024.V.15.N.48.01.29

NOGUEIRA, A.; SARGES, R. Characterization and genesis of waterfalls of the Presidente Figueiredo region, northeast state of Amazonas, Brazil. *An. Acad. Bras. Ci.*, v. 73, n. 2, p. 1 – 16. 2001. DOI: 10.1590/S0001-37652001000200012

OLIVEIRA, A.; HENKES, S.; STROHSCHOEN, A. Conceptual Map and World Café: re-signifying the teaching of sciences for the argumentation. *Research, Society and Development*, v.8, n.3, p. e3183836, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i3.836

OLIVEIRA, M.; ANDRETTA, E.; OLIVEIRA FILHO, I.; MARMOS, J.; SOUZA, A. Avaliação geotécnica nos atrativos geoturísticos de Presidente Figueiredo, AM. Brasília: CPRM, 2022. 50 p.

ORTEGA, J.; GÓMEZ-HERAS, M.; PEREZ-LÓPEZ, R.; WOHL, E. Multiscale structural and lithologic controls in the development of stream potholes on granite bedrock rivers. *Geomorphology*, v. 204, p. 588 – 598, 2014. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.09.005

PÃOZINHO, F.; NASCIMENTO, M. Geodiversidade e Geoturismo aplicados à formação de guias de turismo e condutores de visitantes do Parque Nacional da Chapada das Mesas e entorno imediato. *Caderno Virtual de Turismo*, v. 24, n. 3, p. 31 – 50, 2024. DOI: 10.18472/cvt.24n3.2024.2116

PELLETIER, J.; SWEENEY, K.; ROERING, J.; FINNEGAR, N. Controls on the geometry of potholes in bedrock channels. *Geophysical Research Letters*, v. 42, n. 3, p. 797 – 803, 2015. DOI: 10.1002/2014GL062900

POTYSZ, A.; BARTZ, W. Long-term (bio) deterioration of Fe-containing and Fe-depleted sandstones: An experimental insight into biotic and abiotic interactions. *Construction and Building Materials*, v. 421, p. 135700, 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135700

PROJETO DOCES MATAS. Manual de introdução à interpretação ambiental. Belo Horizonte: IEF – IBAMA – Fundação Biodiversitas – GTZ, 2002. 108p.

RICHARDSON, K.; CARLING, P. A typology of sculpted forms in open bedrock channels. Special Publication 392. Boulder: The Geological Society of America, 2005. 108p. DOI: 10.1130/0-8137-2392-2.1

ROCHA, A.; LIMA, E.; SCHOBENHAUS, C. Aplicativo GEOSSIT: nova versão. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 48, Porto Alegre, 2016. Anais... Porto Alegre: SBG, 2016. 1813.

RODRIGUES, J.; RAMOS, M.; RAMOS, R.; VINAGRE, A.; VINAGRE, H. Geoproducts—Innovative development strategies in UNESCO Geoparks: Concept, implementation methodology, and case studies from Naturtejo Global Geopark, Portugal. *International Journal of Geoheritage and Parks*, v. 9, n. 1, p. 108 – 128, 2021. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2020.12.003

SALAZAR, C.; BARBOSA, R.; SOUZA, I.; DAVID, M.; SOARES, A.; VENÂNCIO, D. Marmitas in Sandstones of the Nhamundá Formation, Origin, and Evolution: Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, n. 156, p. 105435, 2025. DOI: /10.1016/j.jsames.2025.105435

SANE, K.; THAKKAR, M.; CHAUHAN, G.; AIYAR, D.; BHANDARI, S. Formation of potholes associated with bedrock gorges on Mesozoic sandstone of Khari River, Kachchh Mainland, Western India. *Open Journal of Geology*, v. 10, n. 2, p. 171 – 186, 2020. DOI: 10.4236/ojg.2020.102010

SAURO, F.; WRAY, R. An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites. *Earth-Science Reviews*, v. 171, p. 520 – 557, 2017. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.06.008

SCHOBENHAUS, C. Geoparques do Brasil. Brasília: CPRM, 2012. 748p.

SILVA, T.; SILVA, C.; MARINS, L. A paisagem no Geopark Aspirante Seridó: roteiro educativo na perspectiva inclusiva à pessoa com deficiência. *Terra Didática*, v. 17, p. e021014, 2021. DOI: 10.20396/td.v17i00.8664047

SILVA, M.; NASCIMENTO, M.; COSTA, S. Geoheritage of a Brazilian Semi-Arid Environment: the Seridó Aspiring UNESCO Geopark. *Geoheritage*, v. 14, n. 1, p. 311 – 332, 2022. DOI:10.1007/s12371-022-00662-3

SOARES, E.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. Fácies Litorâneas e Subglaciais da Formação Nhamundá (Siluriano Inferior), Região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Göeldi*, v. 2, p. 89 – 116, 2005.

SOUZA, A.; RIBEIRO, A. Geoparques do Brasil: geoparque Cachoeiras do Amazonas: Presidente Figueiredo, AM: atualização do inventário do patrimônio geológico e sítios da biodiversidade. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2024. 50p.

WHIPPLE, K.; HANCOCK, G.; ANDERSON, R. River incision into bedrock: Mechanics and relative efficacy of plucking, abrasion, and cavitation. *Geological Society of America Bulletin*, v. 112, n. 3, p. 490 – 503, 2000. DOI: 10.1130/0016-7606(2000)112<490:RIIBMA>2.0.CO;2

WOHL, E. The effect of bedrock jointing on the formation of straths in the Cache la Poudre River drainage, Colorado Front Range. *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, v. 113, n. F1, 2008. DOI: 10.1029/2007JF000817



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0