

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES

MAPEAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS VOLTADOS PARA A PREVENÇÃO DE DESASTRES

AVALIAÇÕES GEOTÉCNICAS EM ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS

Parque Nacional Serra da Capivara, PI

REALIZAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

DIVISÃO DE GEOLOGIA APLICADA

2023

MAPEAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
VOLTADOS PARA A PREVENÇÃO DE DESASTRES

AVALIAÇÕES GEOTÉCNICAS EM ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS

Parque Nacional Serra da Capivara, PI

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente Interino

Cassiano de Souza Alves

Diretor de Geologia e Recursos Minerais Interino

Paulo Afonso Romano

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues A. da Silva

Chefe da Divisão de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

RESIDÊNCIA DE TERESINA

Chefe da Residência

Gilberto Antônio Neves Pereira da Silva

Assistente de Hidrologia e Gestão Territorial

Jean Ricardo da Silva Nascimento

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
I PROGRAMA GESTÃO DE RISCO E DESASTRES I

MAPEAMENTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
VOLTADOS PARA A PREVENÇÃO DE DESASTRES

AVALIAÇÕES GEOTÉCNICAS EM ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS

Parque Nacional Serra da Capivara, PI

AUTOR

José Sidiney Barros



Teresina
2023

**AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA NOS ATRATIVOS
PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA, PI**

REALIZAÇÃO

**Departamento de Gestão Territorial – DEGET
Divisão de Geologia Aplicada – DIGEAP**

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Diogo Rodrigues A. da Silva
Tiago Antonelli

AUTOR

José Sidiney Barros

EXECUÇÃO

José Milton de Oliveira Filho
Denilson de Jesus
Raimundo Almir Costa Conceição
José Luiz Kepel

APOIO

Rogério dos Santos Brito - ICMBio

Douglas da Fonseca Nogueira - Estagiário RETE
(Geoprocessamento)

APOIO TÉCNICO

Revisão do texto

Departamento de Relações Institucionais – DERID
Irineia Barbosa da Silva

Projeto Gráfico / Editoração

Divisão de Editoração Geral – DIEDIG
Andréia Continentino
Agmar Alves Lopes

Diagramação (DIEDIG)

Pedro da Silva

Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM)

www.cprm.gov.br
seus@sgb.gov.br

APRESENTAÇÃO

As ações desenvolvidas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), no âmbito do Departamento de Gestão Territorial, visam à coordenação, supervisão e execução de estudos do meio físico, na área das geociências, voltados para gestão territorial, geologia ambiental e geologia aplicada, como suporte aos gestores governamentais na elaboração de políticas públicas e no atendimento à sociedade em geral.

A Divisão de Geologia Aplicada propõe a promoção de estudos, projetos e programas relativos à geologia aplicada à engenharia, geotecnia e ocupação urbana, com foco em riscos geológicos.

As ações desenvolvidas visam identificar e caracterizar atributos do meio físico, de forma a orientar a tomada de decisões dos órgãos gestores em nosso território, para a redução dos danos materiais e/ou perdas de vidas humanas resultantes, principalmente, em decorrência de processos como deslizamentos, quedas e rolamentos de blocos, erosões, assoreamentos e inundações.

Atua, ainda, no desenvolvimento metodológico para o conhecimento desses processos destrutivos, capacitando agentes públicos por meio de variadas modalidades de cursos ofertados à sociedade.

Com esse espírito de inovação e com a responsabilidade de promover a ocupação e uso seguro e sustentável do solo, o SGB-CPRM recomenda a leitura e utilização do presente relatório em prol do bem-estar da sociedade brasileira.

Cassiano de Souza Alves

Diretor-Presidente interino

Alice Silva de Castilho

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	9
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	10
3. JUSTIFICATIVAS	10
4. APLICABILIDADES E LIMITAÇÕES DE USO	11
5. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DA PROVÍNCIA PARNAÍBA E RELAÇÃO COM A ÁREA DO PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA	11
5.1. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA PARNAÍBA.....	11
5.2. OS SERROTES.....	16
5.3. RELEVO.....	17
5.4. CLIMA E MEIO AMBIENTE NA REGIÃO DO PAQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA.....	18
6. METODOLOGIA.....	19
7. O PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA, ÁREA E SIGNIFICADOS CIENTÍFICO E CULTURAL	20
7.1. OS LOCAIS DE INTERESSE GEOLÓGICO (LIG) NO PNSC: FRAGILIDADE E VULNERABILIDADE	24
7.2. RISCOS GEOLÓGICOS NOS LUGARES DE INTERESSE GOLÓGICO	25
7.3. INVENTÁRIO DOS LOCAIS DE INTERESSE GEOLÓGICO	26
7.3.1. TOCA DO BOQUEIRÃO DA PEDRA FURADA.....	28
7.3.2. TOCA DO SÍTIO DO MEIO.....	32
7.3.3. MIRANTE DA VISTA PANORÂMICA	34
7.3.4. PEDRA FURADA	35
7.3.5. TOCA DA ENTRADA DO PAJAÚ	40
7.3.6. TOCA DO BARRO E DO INFERNO	43
7.3.7. TOCA DA EMA DO SÍTIO DO BRÁS I.....	45
7.3.8. MIRANTE DA BR 020.....	49
7.3.9. TOCA DO FUNDO DO BAIXÃO DA PEDRA FURADA.....	51

7.3.10. TOCA DA PEDRA CAÍDA/INVENÇÃO.....	55
7.3.11. TOCA DE CIMA DOS PILÃO.....	60
7.3.12. TOCA DO CABOCLINHO.....	62
7.3.13. TOCA DO PARAGUAIO.....	64
7.3.14. TOCA DA ENTRADA DO BAIXÃO DA VACA	65
7.3.15. TOCA DOS COQUEIROS	71
7.3.16. TOCA DA EXTREMA II.....	72
7.3.17. TOCA DO CABOCLO DA SERRA BRANCA.....	77
7.3.18. TOCA DA PASSAGEM.....	79
7.3.19. TOCA DO BAIXÃO DO PERNA I.....	83
7.3.20. BAIXÃO DAS ANDORINHAS/TOCA DO JOÃO DANIEL DAS ANDORINHAS..	84
7.3.21. TOCA DO ESTEVO II OU DA ONÇA.....	87
7.3.22. TOCA DO ALEXANDRE	93
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS.....	94

1. INTRODUÇÃO

O acidente no Lago de Furnas, município de Capitólio-MG em janeiro de 2002, com perdas de vidas, veio demonstrar que desastres naturais não estão restritos a áreas urbanas onde os subsequentes impactos econômicos e um número de perdas de vidas humanas tem assumido proporções preocupantes (Banco Mundial, 2020). O tombamento de bloco como observado em Capitólio é um processo natural e recorrente e em tais casos é impossível evitar o acidente, mas o desastre sim. Isto porque na natureza, se a região tivesse sido alvo de mapeamento de risco, o risco de desabamento poderia ter sido identificado e até classificado como iminente, alto, médio ou baixo o que deveria ser tomado como base para gerenciar, controlar ou limitar a presença de visitantes na área. O fenômeno natural não tem como ser evitado, a não ser com intervenções geotécnicas porque ele faz parte da evolução da paisagem que vem atuando ao longo desses bilhões de anos, mas o desastre, esse sim pode e precisa ser evitado.

O Serviço Geológico do Brasil-SGB tem, dentro das suas atividades, a realização de avaliações geológico-geotécnicas em áreas voltadas para atividades turísticas, contribuindo para uma melhor gestão ambiental dessas áreas bem como da segurança que as mesmas devem oferecer aos visitantes, turistas ou qualquer profissional que utilizem essas locais para o desenvolvimento de suas atividades (e.g. BARROS et al. 2022; OLIVEIRA FILHO et al. 2023; PEDRAZZI et al. 2022; SILVA et al. 2022). Diante deste panorama e em resposta à solicitação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), como consta no Ofício SEI nº 44/2022-PARNA Serra da Capivara/ICMBio/Serra da Capivara, processo SEI 48032.000674/2022-87, foi realizada a visita técnica para identificação e caracterização dos riscos geológicos no PNSC-PI nos locais disponibilizados para a visitação pública e previamente indicados pela administração do ICMBio daquela Unidade de Conservação em duas campanhas uma em setembro de 2022 e outra em março de 2023. A equipe responsável pelos levantamentos de campo esteve constituída pelos profissionais do SGB citados no quadro seguinte, acompanhados por um técnico do ICMBio, também inserido no quadro abaixo.

Quadro 1 - Profissionais do SGB e ICMBio que participaram dos levantamentos de campo.

Nome	Cargo ou função
José Sidiney Barros	Pesquisador em Geociência - RETE
José Milton de Oliveira Filho	Pesquisador em Geociência - RETE
Almir Conceição	Pesquisador em Geociência – SUREG-BE
Denilson de Jesus	Analista em Geociências - Derhu
José Luis Kepel	Pesquisador em Geociência - NUBA
Rogério dos Santos Brito	Chefe de Brigada - ICMBio – São Raimundo Nonato-PI

2. OBJETIVOS

O estudo ora apresentado teve como objetivo principal avaliar os riscos geológico-geotécnicos apresentados ou que possam estar presente nos principais locais de interesse geológico, referido a

seguir como LIG, disponibilizados como atrativos turísticos no Parque Nacional Serra da Capivara, que passa a ser citado como PNSC, segundo uma lista apresentada pelo ICMBio e pesquisadores da FUMDHAM. O objetivo de contribuir para o melhoramento da gestão ambiental e da prática de boas ações de prevenção de desastres norteou as ações deste estudo, o que está em acordo com os objetivos do desenvolvimento sustentável e com o Marco de Sendai (The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, 2015) para redução do risco de desastres.

2.1. Objetivos Específicos:

- Realizar o levantamento de dados geológicos-geotécnicos nos LIGs previamente listados pelo ICMBio, a fim de compreender os processos geológicos-geotécnicos ali instalados e quais os riscos geológicos oferecidos aos turistas e moradores.
- Avaliar as condições geológico-geotécnicas nos LIGs do PNSC-PI como suporte informativo de dados que possam auxiliar a administração quanto à liberação ou não de visitação aos vários locais de interesse geológicos;
- Elaborar e disponibilizar produtos visuais derivados do levantamento com drones (Imagens 360° graus e vídeos).
- Subsidiar com informações técnicas os administradores e órgãos públicos na tomada de decisões voltadas à prevenção, mitigação e resposta a possíveis desastres provocados.

Os dados e informações encontrados neste relatório estão relacionados e descrevem as condições observadas no momento de visita de campo. O presente trabalho constitui um mapeamento de parte das áreas que recebem turistas no PNSC com levantamento e indicação de pontos suscetíveis a ocorrência de algum processo geológico-geotécnico (queda ou tombamento de blocos, deslizamentos, inundações, erosões e etc.). Fica evidente que não se pode descartar a possibilidade de outras áreas estarem submetidas a tais processos indicados, tendo em vista que um número maior de locais de interesse geológicos não foi contemplado neste estudo.

3. JUSTIFICATIVAS

Dados levantados em outros estudos constataam que quando atividades de geoturismo/ecoturismo são implantadas sem a devida ordenação dessas atividades o geopatrimônio pode ser comprometido nas suas características mais representativas para além de colocar em situação de risco os turistas com ocorrência de acidentes e desastres como tem sido observado em alguns locais de grande procura turística como os mais recentes acontecidos na Praia da Pipa, no Rio Grande do Norte, e em Capitólio-MG.

A grande diversidade cênica geológica e geomorfológica observada nos atrativos geoturísticos na área do PNSC tem contribuído para que um grande número de turistas venha escolhendo esta unidade para visitação ao longo do ano. Tais condições suscitam um estudo que contemplem as políticas de acesso, segurança e conservação do geopatrimônio. A elaboração deste trabalho tem sua justificativa na contribuição com dados geotécnicos que possam auxiliar os gestores da área em estudo na proposição de medidas mais seguras das atividades turísticas desenvolvidas na região.

4. APLICABILIDADES E LIMITAÇÕES DE USO

- Apesar das informações geotécnicas contidas neste trabalho, a utilização do mesmo deve estar voltada mais direta e especificamente para:
- Subsidiar o poder público na seleção das áreas turísticas que merecem uma atenção e ações destinadas à prevenção dos desastres com foco nos componentes geológicas da paisagem;
- Contribuir, quando necessário, para a elaboração de projetos de intervenção estrutural naqueles pontos de maior suscetibilidade à instalação e ocorrência dos processos geológicos ligados a desastres;
- Auxiliar na elaboração de planos de contingência;
- Auxiliar na construção de sistemas de monitoramento e alerta de desastres;
- Direcionar as ações da Defesa Civil e autoridades competentes.

Por outro lado, este trabalho não se destina ou não deve ser aplicado nas situações seguintes:

- Qualquer aplicação incompatível com a escala cartográfica de elaboração;
- Substituir análises de estabilidade de taludes e encostas;
- Substituir qualquer projeto de dimensionamento e implantação de obras estruturais nas áreas vistoriadas;

5. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DA PROVÍNCIA PARNAÍBA E RELAÇÃO COM A ÁREA DO PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA

5.1. Geologia da Província Parnaíba

No contexto geológico a área está situada entre dois domínios: a Província Estrutural da Borborema que compreende um complexo mosaico de dobramentos relacionados a eventos tectônicos, magmáticos e termais de idade Neoproterozoica e, segundo Brito Neves et al., 2015) conhecidos como Ciclo Brasileiro, aqui representada pela Faixa de Dobramentos Riacho do Pontal; e a intracratônica fanerozoica da Província Parnaíba (CPRM, 2006) (Figura 1).

Localizada na porção nordeste da Plataforma Sul-americana, a Província Parnaíba recobre terrenos dos estados do Piauí e Maranhão, predominantemente, e parciais dos estados do Pará, Ceará, Bahia, Tocantins e Goiás. Com uma forma de sinéclise, esta bacia intracratônica apresenta dimensões da ordem de 600.000 km² e espessura máxima de cerca de 3.500 m na sua zona de depocentro na região de Carolina-MA. Com seu diâmetro maior de 1.000 km na direção NE-SW e menor de 800 km na direção NW-SE esta bacia teve, segundo Almeida (1969) durante sua evolução paleozoica, uma área superior a 0,7 milhão de km².

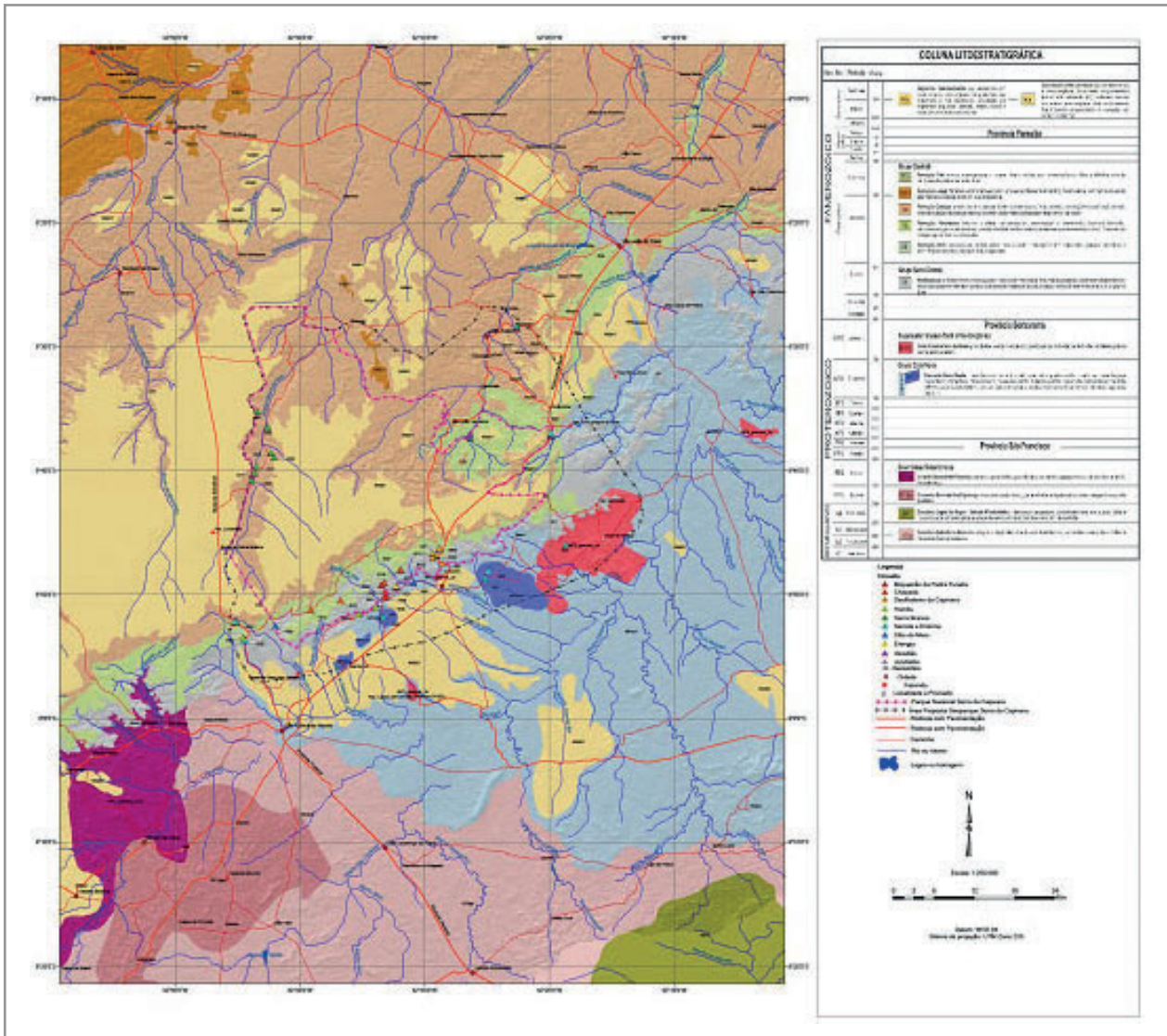


Figura 1 - Mapa geológico do PNSC com coluna estratigráfica e distribuição dos circuitos turísticos. Fonte: CPRM (2006).

O início da subsidência da Província Parnaíba está relacionada ao Siluriano inferior ou Ordoviciano superior após um período significativo de erosão das rochas do embasamento da Plataforma Sul-Americana (Almeida et al., 1977). Segundo Brito Neves (1983), toda a evolução paleogeográfica, posição de deposição e áreas fontes, feições geomórficas, assinaturas gravimétricas e a geometria atual da Província Parnaíba demonstram uma forte e marcante dependência em relação às estruturas brasileiras.

As seqüências estabelecidas para as unidades litoestratigráficas das sucessões sedimentares da Província Parnaíba, desde Small (1914), vem sendo modificadas por diversos autores, como Plummer et al., (1948), Campbel et al., (1949), Kegel (1953); Mesner & Wooldridge (1962;1964); Rodrigues (1967); Aguiar (1969; 1971); Carozzi et al., (1975); Lima & Leite (1978); Quadros (1982); Caputo & Lima (1984); Góes et al., (1990); e Góes et al., (1993).

Para a estratigrafia da bacia Góes e Feijó (1994) estabeleceram quatro grupos, Serra Grande, Canindé, Balsas e Mearim, que estão sobrepostos pelas formações Grajaú, Codó, Itapecuru, Urucua e Areado (Figura 2). Esses mesmos autores, em estudos posteriores, subdividiram esses grupos em

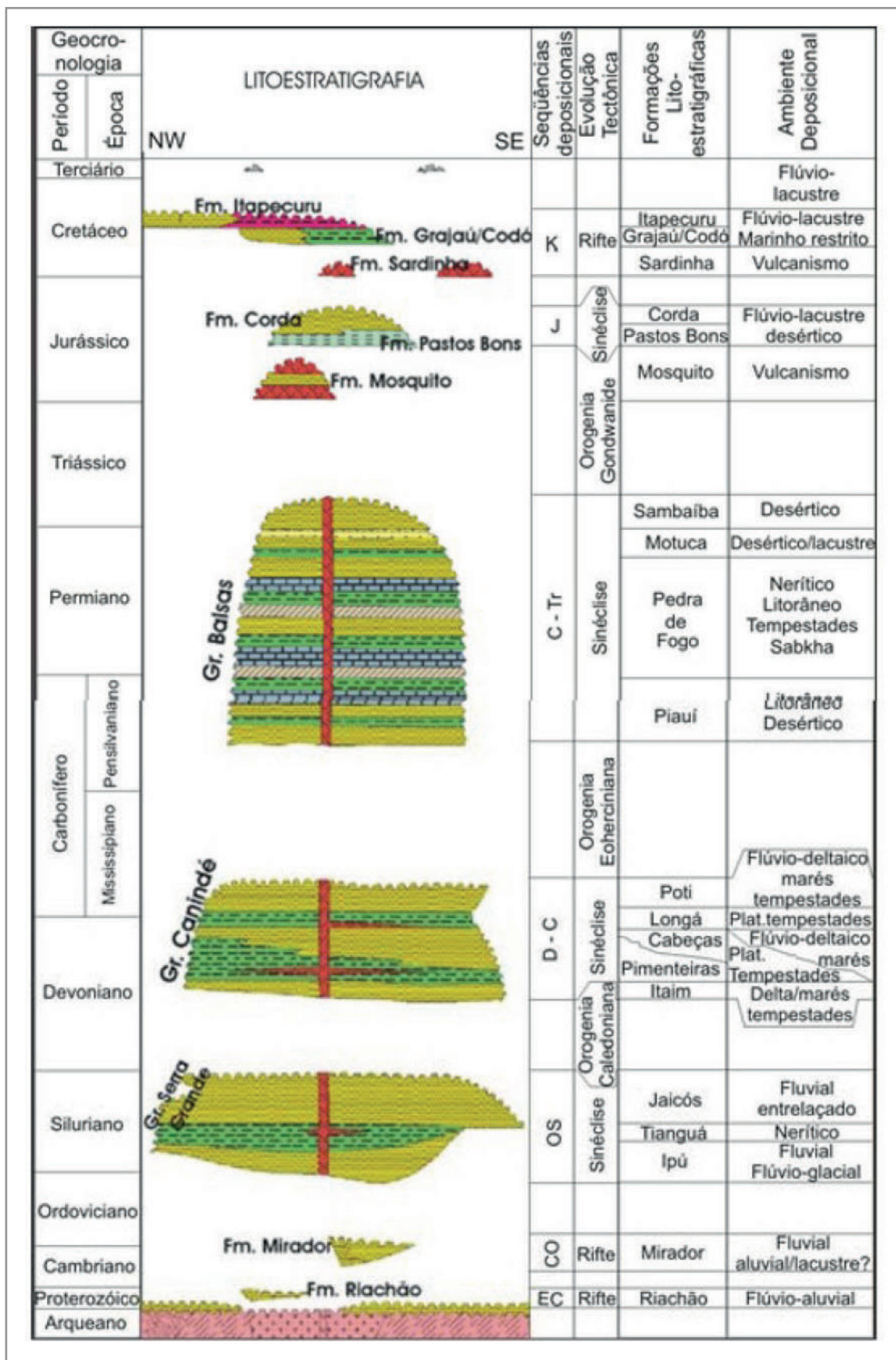


Figura 2 - Estratigrafia da Província Parnaíba (Góes e Feijó, 1994).

cinco sequencias deposicionais: seqüências Siluriana e Devoniana representativas de dois ciclos transgressivos-regressivos completos; seqüência Carbonífera-Permiana depositada durante um ciclo transgressivo-regressivo, com continentalização da bacia no Triássico; e, por fim, as seqüências Jurássica e Cretácica com deposição das formações Mosquito e Sardinha, e associados à abertura do Oceano Atlântico Sul.

As cinco seqüências deposicionais e suas unidades litoestratigráficas de Góes e Feijó (1994) passaram a ser caracterizadas e constituídas como descrito a seguir:

1 - Sequência Siluriana - Grupo Serra Grande: composto por arenitos, folhelhos, siltitos, conglomerados e raros diamictitos e distribuídos pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós durante a primeira incursão marinha na bacia;

2 - Sequência Devoniana - Grupo Canindé: com folhelhos, arenitos e siltitos, distribuídos nas formações Itaim, Pimenteira, Cabeças, Longá e Poti, durante a segunda incursão marinha na bacia.

3 - Sequência Carbonífera-Permiana - Grupo Balsas: com arenitos, siltitos, folhelhos, calcáreos, anidritas, silixitos e restos de madeira petrificada (*Psaronius*), distribuídos nas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba, representativas de deposição em mares com circulação restrita;

4 - Sequência Jurássica - Grupo Mearim: com seus arenitos, siltitos e folhelhos das formações Pastos Bons e Corda, de ambiente desértico, predominantemente flúvio- lacustre com retrabalhamento eólico e atividades vulcânicas da Formação Mosquito;

5 - Sequência Cretácica: arenitos, argilitos, folhelhos, carbonatos e anidritas das formações Itapecuru, Codó e Grajaú, depositados em ambiente epicontinental com eventuais incursões marinhas e atividade vulcânica da Formação Sardinha.

Os estudos de Góes & Feijó (1994) na Província Parnaíba permitiram definir que a mesma está representada apenas por rochas paleozoicas, dos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas, cujo desenvolvimento tectônico e sedimentar tem forte associação com a subsidência do seu embasamento inserido no contexto evolutivo do paleocontinente Gondwana (Figura 3). Para as sequencias posteriores após o Grupo Balsas os aspectos tectônicos sedimentares associam-se diretamente ao processo de ruptura do Gondwana passando, segundo Rosseti et al., (2001), a serem entendidos e relacionados às bacias evolutivas distintas da Província Parnaíba.

Os pulsos termais que caracteriza o Ciclo Brasileiro desencadearam toda a estruturação precursora responsável pelo desenvolvimento tectono-sedimentar da Província Parnaíba, estruturada pela formação de grábens e horsts que constituem o suporte basal desta bacia, cujos eixos estão orientados de NE para N. Segundo Góes et al., (1994) o controle e influência dessa tectônica no desenvolvimento da sedimentação pós-ordoviciana foi mais ativa nas primeiras fases deposicionais da bacia (Figura 4). Uma grande depressão durante o Ordoviciano resulta da evolução termomecânica da área que passou a ser preenchida por sedimentos flúvio-deltaicos a marinhos rasos das primeiras formações geológicas do Grupo Serra Grande que reflete, na sedimentação final, os efeitos da orogenia caledoniana responsável pela grande discordância regional (Góes et al., 1990).

A retomada do processo de sedimentação tem seu recomeço no Neocarbonífero em ambiente de desertificação e mudança de depocentros que se desloca para a porção mais central da bacia e corresponde à fase de continentalização das litologias do Grupo Balsas. Com a abertura do Atlântico no Jurássico os efeitos da tectônica extensional envolvida na separação dos continentes sul-americano

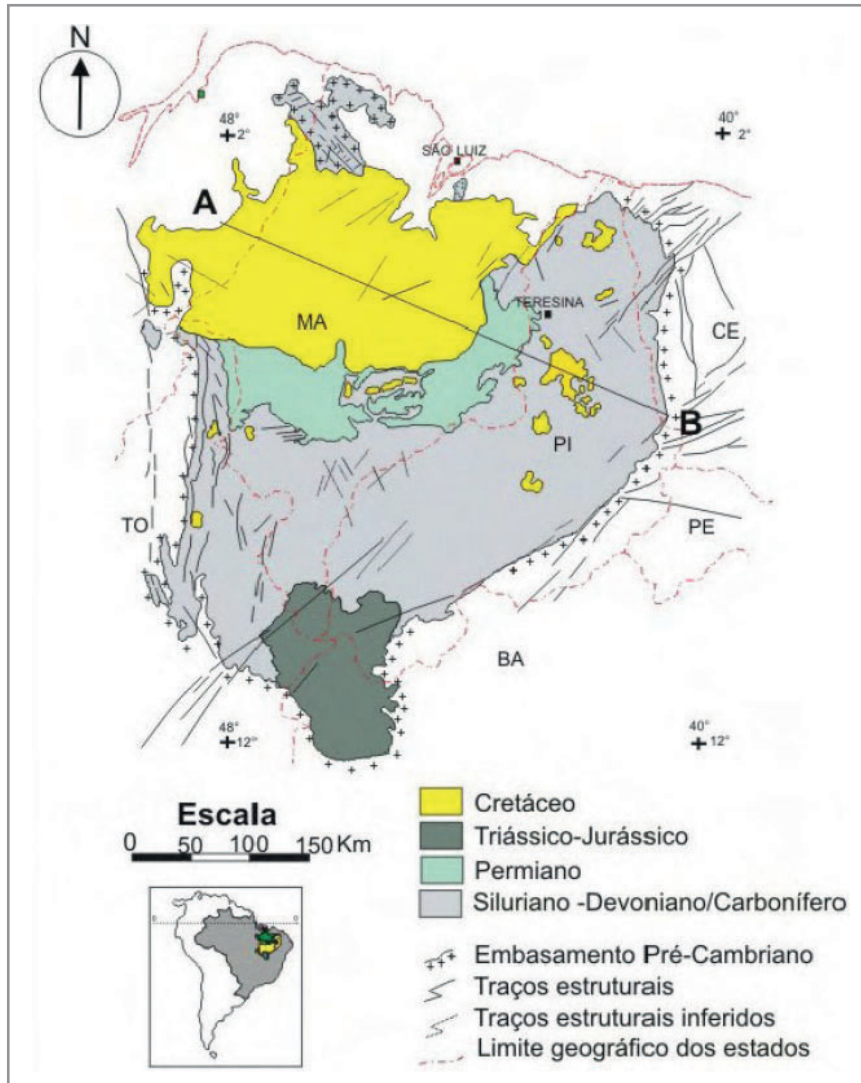


Figura 3 - Localização da Bacia Parnaíba, com dados estruturais e estratigráficos. Fonte: CPRM, 2002.

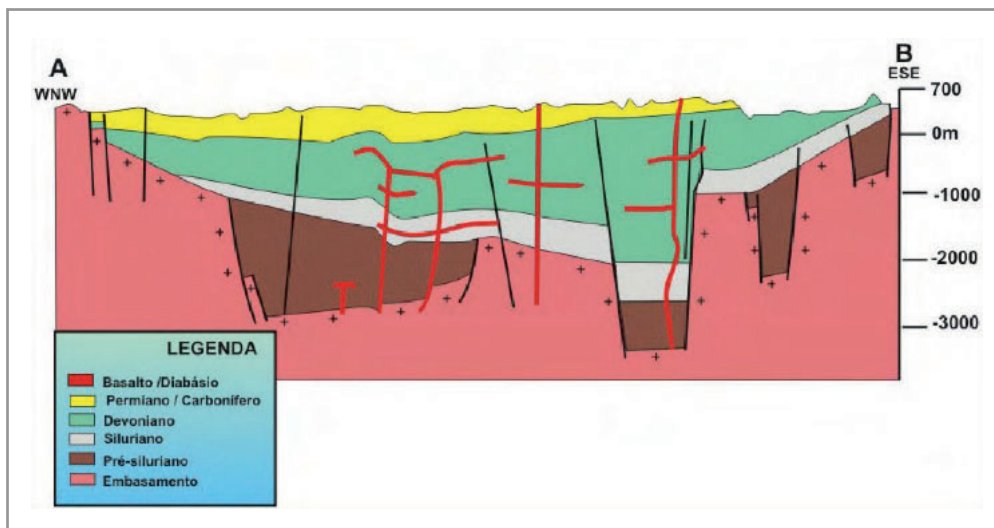


Figura 4 - Seção geológica esquemática (A-B) da Bacia Parnaíba (Góes et al., 1994).

e africano gera condições para instalação de eventos magmáticos na bacia seguido dos depósitos clásticos das formações Pastos Bons e Corda do Grupo Mearim (Góes et al., 1990).

No Cretáceo, com a elevação do nível do mar e subsidência termomecânica nas porções NW e N, foram depositadas em duas fases distintas as formações Codó/Corda, no Aptiano, e Itapecuru, no Albiano e Cenomaniano. Partindo destes dados fica evidenciado e defendido em Góes & Feijó (1994) um predomínio de rochas paleozoicas para a Província Parnaíba referentes aos Grupos Serra Grande, Canindé e Balsas inseridas, então, no contexto evolutivo do paleocontinente Gondwana. Rosseti et al., (2001) sugere que a sedimentação após o Grupo Balsas tem seus aspectos tectônicos estabelecidos e condicionados à ruptura do Gondwana.

Vaz et al., (2007) reinterpreteram a sedimentação recente da Província Parnaíba no contexto de cinco supersequências separadas por discordâncias regionais e referidas como siluriana (Grupo Serra Grande), mesodevoniana-eocarbonífera (Grupo Canindé), neocarbonífera-eotriássica (Grupo Balsas), jurássica (Formação Pastos Bons) e cretácea (Formações Codó, Corda e Grajaú). Essa proposta tem suscitado questionamentos quando comparada com as anteriores por uma certa discrepância temporal para algum intervalo nomeadamente quanto ao posicionamento das rochas da Formação Corda até então entendida como de idade jurássica e pelos autores supracitados agora reposicionada no cretáceo. Para alguns autores faltou uma melhor discussão sobre os critérios adotados para este reposicionamento desta unidade.

A tectônica da Província Parnaíba e, por conseguinte, da região do PNSC esteve fortemente afetada e controlada por dois lineamentos: o Transbrasiliano de direção NE-SW e o Picos-Santa Inês com direção NW-SE. O lineamento Transbrasiliano, definido por Schobbenhaus et al. (1975), foi associado a uma faixa cataclasada com cerca de 2.700 km de extensão e que atravessa a plataforma Sul-Americana do Ceará ao Mato Grosso do Sul e adentra pelo Paraguai e Argentina. Esta mesma faixa foi identificada por Cordani et al., (1984) e Marini et al., (1984) onde, esses últimos autores, relacionam as várias reativações, em diferentes épocas e tensões devidas a falhas inicialmente instaladas no Arqueano ao Lineamento Transbrasiliano. Cunha (1986) defende uma largura para este lineamento em torno de 75 a 100 km. Para o lineamento Picos-Santa Inês, Nunes et al., (1973b) estima uma faixa de 160 km de extensão e um rejeito vertical entre 200 e 300 m. Este lineamento também se caracteriza por uma extensa faixa NW-SE cataclasada posicionando-se de modo transversal ao Lineamento Transbrasiliano tendo sua instalação definida no Proterozoico Final e separa, na região do Gurupi, domínios geológicos e geocronológicos diferentes (Hasui et al., 1984b). O desenvolvimento da Província Parnaíba teve um dos seus eixos deposicional sob forte influência e controle do Lineamento Picos-Santa Inês de modo mais intenso a partir do Devoniano Inferior quando se estabelece a ligação da bacia com o mar aberto criando condições para a maior invasão do mar Devoniano na Bacia (Cunha, 1986).

5.2. Os Serrotes

Os afloramentos calcários são encontrados no entorno do PNSC, no município de Coronel José Dias, localizados na planície pré-cambriana formando relevos que são denominados de serrotes. Os locais de interesse geológicos localizados nessa região encontram-se fortemente comprometidos do ponto de vista de sua conservação. Várias são as causas deste comprometimento com destaque para o fato de terem sido fortemente utilizados como fonte de extração de calcário para fabricação de cal na região com forte descaracterização dos serrotes e de suprimento da vegetação nativa. A

destruição dos locais de interesse geológicos foi mais fortemente afetada quando da substituição dos mecanismos de retirada do calcário que passaram de manuais para utilização de dinamite para o desmonte do material rochoso. O efeito secundário deste último processo foi um forte impacto na estrutura subterrânea dos afloramentos e posterior desestabilização do maciço até que em 1999 a exploração de cal nestes locais foi proibida.

5.3. Relevo

A região de estudo apresenta um clima semiárido e ocupa uma zona de contato entre a Província Parnaíba e a depressão periférica do São Francisco o que possibilitou a formação de unidades paisagísticas caracterizadas pela diversificação de biótipos naturais e culturais, peculiares a esta condição. Como relevo característico de borda sedimentar, predomina uma estrutura concordante homoclinal com inclinação suave das camadas no sentido do centro da bacia, constituindo um relevo de *cuestras* (Penteado, 1978). Quando submetidas à erosão diferencial as *cuestras* respondem gerando diferentes elementos topográficos, dentre estes os mais frequentes fazem-se presentes na região do Parque como o *front*, depressão ortoclinal ou subsequente, reverso da *cuestra* e morro testemunho (Figura 5). O *front* da *cuestra* corresponde à escarpa erosiva instalada entre a depressão ortoclinal e a parte superior da *cuestra* sendo constituída de *cornija*; à depressão ortoclinal associa-se a vertente do vale que delimita a *cuestra*; e o reverso da *cuestra* é o topo da *cuestra* suavemente inclinado que vai deste a parte superior do *front* até o centro da bacia sedimentar (Carvalho, 2007).

Essas características locais conferem à área uma importância significativa para estudos que contemplem a sua geomorfologia, diante da influência exercida pelo relevo na variedade paisagística nomeadamente na vegetação diretamente dependente dos fatores morfoclimáticos.

A área de cobertura do PNSC se estende por terrenos dos municípios de São Raimundo Nonato, Coronel José Dias, João Costa e Brejo do Piauí, englobando áreas que pela sua condição topográfica são identificadas localmente por Serra Talhada, Serra Branca, Serra do Congo, Serra Nova, Serra Vermelha e Serra Grande (IBAMA, 1991).

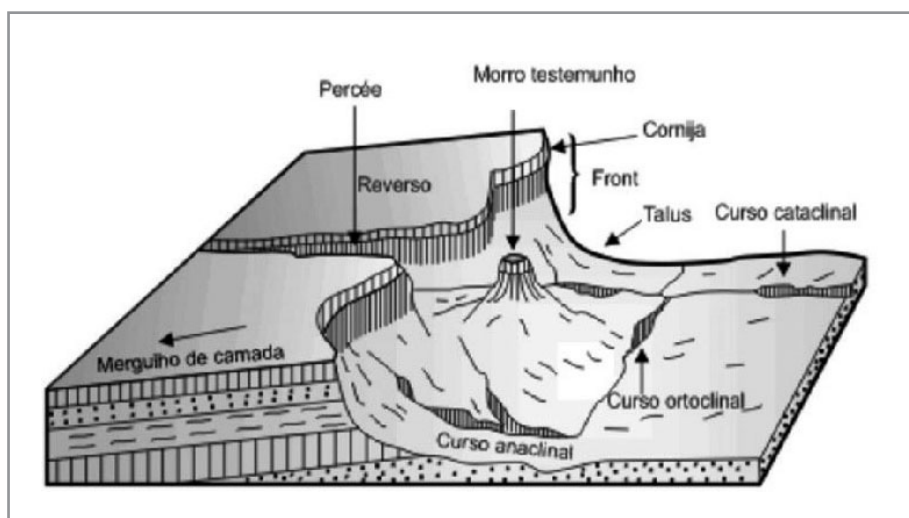


Figura 5 - Identificação dos elementos caracterizadores de um relevo de *cuestra*. Fonte: Carvalho (2007).

Pellerin (1984) caracteriza a porção noroeste do PNSC como sendo constituída por planaltos areníticos, do reverso da *cuesta*, *cuestas* e pedimentos, com altitudes entre 630 a 600m a sudoeste e 520 a 500 a noroeste. Vales profundos encaixados e de fundo chato dominados por *cornijas* areníticas cortam esses planaltos gerando os relevos ruiformes ou cársticos bem característicos desta região (ver figura 5 e 6).

Aos planaltos areníticos reacionam-se chapadas do reverso da *cuesta* onde se observa um relevo regular, tabuliforme de baixa declividade e dissecação com altitudes em torno de 600 a 300m. As *cuestas* ocorrem forte e predominantemente associadas às rochas areníticas e conglomerados, podendo observar que o desnível entre *cuesta* e pedimento fica em torno de 200m-250m. Vales profundos encaixados e de fundo chato dominados por *cornijas* areníticas cortam esses planaltos gerando os relevos ruiformes ou cársticos bem característicos e representados nesta região (Figura 6).



Figura 6 - Vista panorâmica parcial do *carste* da linha de “*cuesta*” da borda sudeste da Província Parnaíba, mostrando o modo de ocorrência dos arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados do grupo Serra Grande na área do PNSC. Observar, ao fundo, num plano mais elevado, os pelitos da formação Pimenteira. Município de Coronel José Dias-PI. Foto: Autores (2023).

5.4. Clima e meio ambiente na região do Paque Nacional Serra da Capivara

O clima da região é enquadrado com tipo seco (Bshw de Köppen), clima semiárido quente e chuvas de verão, precipitações irregulares e médias anuais que chegam aos 650 mm, mas que atingem valores para evapotranspiração elevados da ordem de 1.400 mm, segundo metodologia de Thornthwaite. Quanto às temperaturas, elas oscilam entre um mínimo de 12°C, máxima de 35°C e média de 25°C com chuvas anuais inferiores a 700 mm. Toda a estação seca se estende por cerca de 8 meses caracterizada por uma baixa pluviosidade. Com isso, tem-se uma média para a umidade relativa do ar em torno de 20% bem próxima dos valores encontrados em regiões desérticas.

As áreas ecotonais caracterizam-se por uma diversidade significativa e particular, como observado da área em estudo. Para o Piauí tem-se 37% do seu território com presença de Caatinga, 33% de cerrados e 19% de áreas de transição (Oliveira et al., 1997). A estas áreas de transição correspondem

os contatos entre cerrado com caatinga, carrasco, mata seca decídua, mata estacional subdecídua e mata ripícula (Barros & Castro, 2006). Estas fisionomias estão diretamente condicionadas ao regime de água nos solos que dependem da localização topográfica do local de interesse geológico na sub-bacia hidrográfica e da profundidade desses solos. Esse tipo de vegetação tem sua instalação diretamente relacionada e condicionada pelos fatores geomorfológicos, climáticos, ecológicos e históricos. A caatinga arbustiva ocorre como fitofisionomia predominante na área e como enclaves florestais nas áreas mais úmidas.

O mais extenso levantamento sobre a flora do PNSC foi elaborado por Emperaire (1989) que estabelece uma relação por demais interessante entre vegetação e substrato rochoso, mais especificamente sobre as Formações geológicas ali aflorantes. Neste levantamento, estabelece cinco categorias de vegetação e relaciona o domínio de cada vegetação ao tipo de relevo: caatinga arbustiva alta densa; formações arbóreas; caatinga arbórea média densa; caatinga arbustiva baixa e caatinga arbustiva arbórea. À Formação Pimenteira estabelece uma forte relação com a caatinga arbustiva arbórea presente nos vales siltico-areníticos, onde identifica as fitofisionomias de estrato herbáceo, estrato arbustivo baixo, estrato arbustivo alto e estrato arbóreo médio. Ao Grupo Serra Grande, nomeadamente à Formação Ipu que aflora na região, a cobertura vegetal é mais rala e fraca com estrato arbustivo alto e estrato arbóreo baixo.

O Bioma Caatinga, sempre descrito como cinzento pela vegetação seca, inóspito e de chão rachado mostra, na área de estudo toda a sua beleza e imponência com centenas de espécies nativas de uma flora e uma fauna rica, diversificada e abundante que habitam os cânions. Algumas espécies ainda ali encontradas, como os jacarés amazônicos, testemunham um tempo em que grandes florestas cobriam a região e davam abrigo a uma megafauna de gigantes.

Nos tempos atuais, a região apresenta um cenário de beleza natural e estética que associada a uma diversidade biológica ímpar surpreende e atrai visitantes de todo o mundo durante o ano inteiro. Como reserva de preservação patrimonial apresenta uma importância local, regional, nacional e mundial ao guardar nas suas tocas, abrigos e cavernas a maior concentração de pinturas rupestres e local de interesse geológicos e arqueológicos do continente americano. E são esses registros que comprovam e permitem reconstituir as sociedades que antecederam os colonizadores ibéricos do Novo Mundo.

6. METODOLOGIA

Diferentes etapas foram envolvidas na realização deste trabalho, aqui descritas como etapas pré-campo, campo e pós-campo.

A etapa pré-campo foi desenvolvida com pesquisas bibliográficas exaustivas sobre a área do PNSC com ênfase nas informações sobre seus aspectos naturais constituindo-se no referencial ou acervo teórico e suporte básico para as etapas seguintes. Nesta etapa foram levantados e analisados os principais trabalhos sobre o seu enquadramento geológico, geomorfológico, paleontológico, arqueológico, espeleológico, histórico e turístico com consulta ao seu plano de manejo e demais relatórios técnicos que lhes fossem associados, bem como as relacionadas à Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo ou temática do geopatrimônio e da geologia regional nos níveis nacional e internacional, e neste caso contemplando as obras referências relacionadas aos temas com as de Brilha (2005; 2016) e Gray (2004).

No momento seguinte, ou etapa de campo, toda uma base cartográfica foi gerada com uso do ArcGis e Qgis para confecção de mapas que serviriam de base e suporte para a etapa de campo e para os mapas temáticos. Também foi feito uso do Google Earth Pro que muito nos auxiliou quanto à localização dos pontos e trilhas. Todos os locais de interesse geológico pré-selecionados foram percorridos, georreferenciados, fotografados, inclusive com imagens de drones em 360° para uma melhor visualização e contexto geológico, tectônico e geomorfológico da paisagem, para a elaboração final de uma lista de rotas de geoturismo.

Em todos os LIGs foram levantados os elementos geológicos que melhor e mais caracteristicamente ilustravam os processos morfodinâmicos formadores da área descritos de forma sistemática. Medidas estruturais, como falhas, fraturas, dobras, movimentos de massa e altitudes foram coletadas como ferramentas de interpretação das feições sedimentares e tectônicas ali encontradas. A partir do conhecimento destes dados, foi elaborada uma avaliação geotécnica nos locais de interesse geológico (LIG) e que estão na lista dos mais visitados e disponibilizados como atrativos turísticos pela administração do Parque.

7. O PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA, ÁREA E SIGNIFICADOS CIENTÍFICO E CULTURAL

A região onde está localizado o PNSC apresenta uma importância ímpar que a diferencia e torna o seu significado mais “planetário” quando parte desta história geológica está ali representada e “escrita” na história geológica da Província Parnaíba, desde a invasão do mar siluro-devoniano que cobriu toda a sua extensão, aos limites estabelecidos pelo escudo pré-cambriano ao sul passando por processos de soerguimento, principalmente durante o Triássico, com exposição das serras com arenitos e conglomerados, predominantemente, como reflexo dos movimentos tectônicos relacionados à abertura do Atlântico Sul (Figueiredo & Gabaglia, 1986; Góes & Feijó, 1994). Nos períodos seguintes toda a região tem seu substrato sob a ação dos agentes erosivos que respondem pelas feições e formas atuais da paisagem constituída de planaltos ou chapadas, morros, serras, serrotes e planícies com um relevo tipicamente ruiforme ou cárstico e nesse caso associado quer a rochas carbonáticas, quer siliclásticas. Às áreas mais baixas associam-se rochas do embasamento com exposições de granitos, gnaisses, xistos, calcários e quartzitos, expostos ao longo da planície do vale do rio Piauí.

A área geológico-estrutural onde está instalado o PNSC, para além das particularidades arqueológicas, apresenta características ímpares, diferentes e complementares ao envolver:

- 1 questões ambientais, ao situar-se numa fronteira geológica que coloca em contato direto formações da Província Parnaíba de idade paleozoica e uma planície pré-cambriana da depressão periférica do São Francisco;
- 2 questões ecológicas, ao configurar uma zona de transição ecológica ou ecótono onde diferentes formações vegetacionais, caatinga, cerrado e floresta, dividem harmonicamente o mesmo espaço;
- 3 e questões culturais por abrigar na sua área a maior concentração de locais de interesse geológicos e arqueológicos do mundo.

O PNSC apresenta-se como um dos mais bem estruturados parques nacionais onde, durante a visita aos mais diferentes e surpreendentes locais de interesse geológicos abertos ao turismo, é possível

voltar no tempo em que o ambiente atual do sertão abrigava animais gigantes, florestas tropicais e diferentes povos da pré-história. Tudo isso possível de se ver, tocar, apreciar experienciar através dos fósseis e uma diversidade de ferramentas encontradas quando das escavações arqueológicas e, principalmente, na enorme variedade de pinturas rupestres ali deixadas ao longo de milhares de anos num verdadeiro museu a céu aberto com cenas representativas do cotidiano dos nossos parentes mais antigos.

A importância histórico-geológica que o substrato rochoso da área de localização do PNSC assume e representa advém não apenas por localizar-se na borda sudeste da Província Parnaíba mas como local de preservação de registros históricos da evolução da Plataforma Sul-americana e, subsequentemente, da evolução do Planeta e da vida a ele associada, para além da história da chegada do homem às Américas, características estas que foram levantadas, listadas e constam no estudo para subsidiar uma proposta de Geoparque para esta mesma área (Barros et al., 2012).

O Parque está instalado numa área onde se dá o encontra de dois grandes domínios geológicos brasileiros: a Província Estrutural da Borborema, domínio geomorfológico da Depressão Periférica Sertaneja e da Planície Pré-Cambriana do São Francisco, aqui representada pela Faixa de Dobramentos Riacho do Pontal, e o domínio sedimentar paleozoico, domínio geomorfológico dos Planaltos e Chapadas da Província Parnaíba. Do ponto de vista de limite político a área fica restrita ao domínio sedimentar da Província Parnaíba e a Faixa de Dobramentos Riacho do Pontal marcando a sua vizinhança. Para Pellerin (1984, apud SANTOS, 2007) este limite político está representado nas três feições geomorfológicas locais: planalto arenítico, *cuesta* e o pedimento (Figura 7). Essas feições geomorfológicas constituem um conjunto de serras inseridas em um complexo maior chamado Serra do Bom Jesus do Gurguéia, no Piauí, localmente subdividida em áreas que recebem os nomes de Serra Branca, Serra Vermelha, Serra da Capivara, Serra da Jurubeba, Serra Talhada e Serra do Gongo.

Situado na região da Província Parnaíba, de idade paleozóica, ocupa uma área que há cerca de 400 M.a. correspondia a uma planície costeira cuja distância do mar é na atualidade de 30 a 100 km ao



Figura 7 - Limite político representado nas três feições geomorfológicas locais: planalto arenítico, *cuesta* e o pedimento, segundo Pellerin (1984). Foto: Autores (2023).

norte da atual linha definida pelos paredões íngremes da Serra da Capivara. Para o estuário ali formado convergiam todas as linhas de água que vinham do escudo pré-cambriano carregadas de areia, lama e cascalho despejados, de seguida, no mar. Esses sedimentos são hoje encontrados e expostos nas encostas/paredões da serra e dão indicativos das mudanças climáticas ocorridas neste período de tempo significando que um indivíduo que chegasse até essa região há cerca de 400 M.a. atrás estaria, no mínimo, com água até o joelho. Neste período, entre 400-360 M.a. BP, o mar Siluriano avançou por toda esta região. Durante o Triássico, período entre 225-210 M.a., forte movimentação tectônica soergueu o fundo do mar formando uma serra com cadeia de veredas e grotões com arenitos, conglomerados e outras rochas sedimentares. Após esse soerguimento, as rochas agora expostas e fraturadas ficaram submetidas às forças dos agentes erosivos água e vento que, durante milênios, modelaram essas rochas e foram responsáveis pelo relevo e formas atuais. Uma vasta planície sedimentar com alguns pontos que ressaltam na topografia afloramentos de rochas graníticas e gnáissicas e alguns maciços calcários de cor escura com grutas e/ou sumidouros que apresentam fortes indícios de interligações através de um sistema de galerias subterrâneas se estendem ao longo de toda a serra assumindo formas residuais de inselbergs, localmente denominados de serrotes (Pessis, 2003).

Essa *cuesta* atual representava o limite entre água e praia e atualmente separa a depressão do São Francisco e o reverso ou topo da serra (Figura 8). Todos esses eventos ocorreram num tempo em que o homem ainda não tinha sequer aparecido no planeta Terra. Na região, o homem pré-histórico aparece há cerca de 100 mil anos atrás quando o ambiente era dominado por uma floresta com vegetação exuberante, cipós, samambaias e os paredões de rochas com abrigos que lhes serviram de moradas e onde hoje encontramos os seus registros nas pinturas ali deixadas pelos mesmos.

O PNSC, situado no domínio do semiárido nordestino tem, no Bioma Caatinga, a sua vegetação mais típica e que nas primeiras gotas de chuva renasce com todo o esplendor multicolorido transformando a mata seca e cinzenta numa vegetação de cores vivas: verde, amarela, cinza, branca, roxa e vermelha. E foram essas águas que no passado definiram os caminhos por onde o homem da pré-história



Figura 8 - Cuesta – limite atual entre depressão e reverso da Serra da Capivara. Foto: Autores (2023).

passou deixando suas marcas nas inúmeras e diferentes pinturas hoje encontradas nos paredões rochosos. Os locais de interesse geológico do PNSC constituem a maior concentração de pinturas rupestres do mundo ou, segundo Pessis (2003), “O PNSC e suas adjacências forma um verdadeiro santuário cultural de épocas pré-históricas”.

Na passagem por esta região o homem pré-histórico conviveu com animais que usavam a floresta densa como habitat natural e que desapareceram ao longo do tempo como os ferozes e poderosos carnívoros tigres-de-dentes-de-sabre (*Smilodon populator*) carnívoro feroz, representado na figura seguinte, que podia pesar até 300 quilogramas com caninos enormes que chegavam a atingir até 20 cm, e a preguiça gigante (*Catonix cuvieri*, *Eremotherium lundii*) que poderiam atingir os mais de 6 metros de altura. Já na área das planícies podiam ser encontrados os mastodontes, lhamas, cavalos, veados, emas, dentre outros. Com as mudanças severas do clima e diminuição das chuvas esses animais gigantes foram desaparecendo e há cerca de 6 mil anos atrás foram substituídos por animais de menor porte (Buco, 2011) (Figura 9). A floresta remanescente desta época e que ainda hoje se encontra na Serra da Capivara está restrita aos vales estreitos e úmidos ao pé da serra onde a água continuou com uma certa abundância.

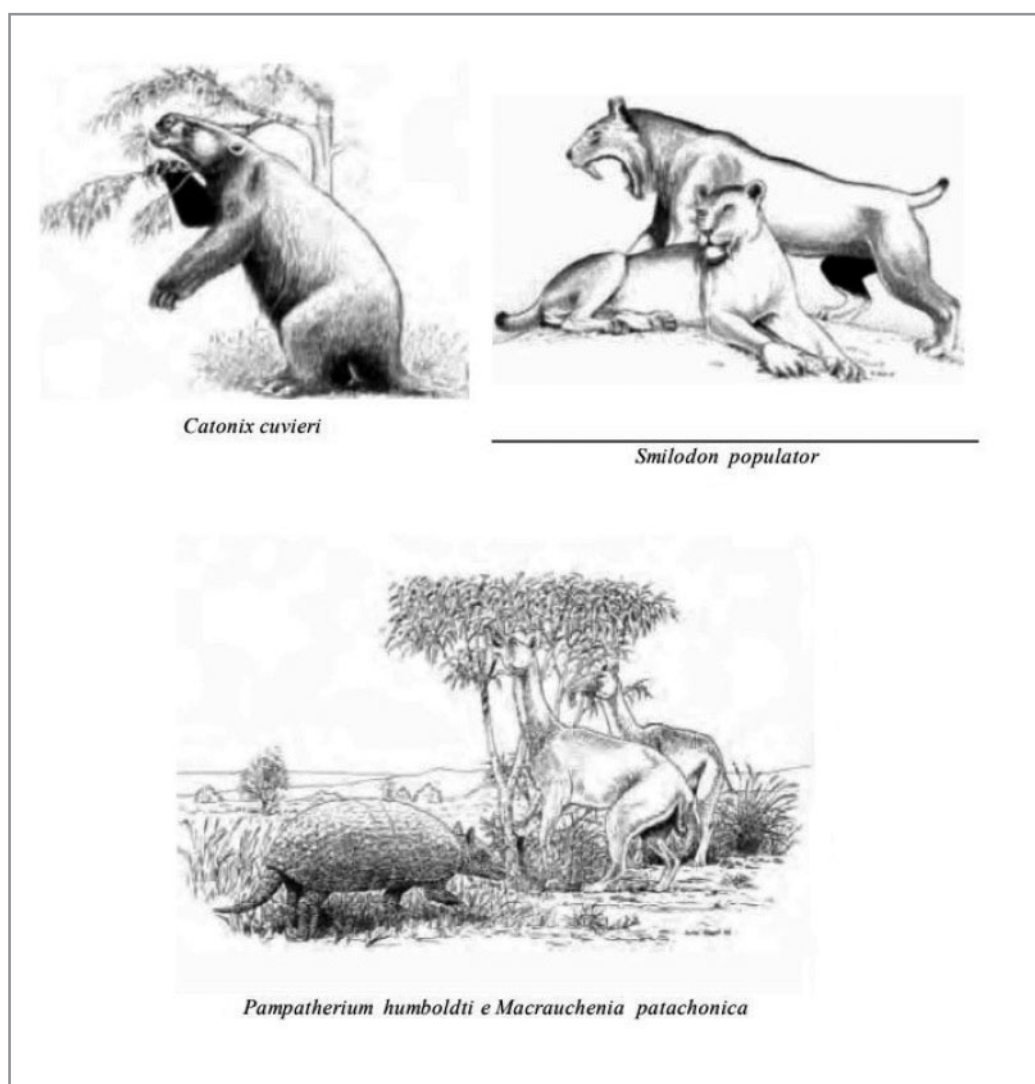


Figura 9 - Ilustrações de espécies fósseis encontradas no PNSC. Ilustração: André Houot. Fonte: PNSC (1998).

O clima atual semi-árido com duas estações bem distintas responde pela forte metamorfose na paisagem com a estação chuvosa caracterizada por um grande volume de água que transforma boqueirões em rios com uma força tal capaz de arrancar e levar árvores, rochas e sedimentos. Nessa estação a vegetação surge exuberante na sua diversidade de flores, cores e perfumes transformando a planície numa pradaria com condições adequadas para um replicar de vida onde as espécies se reproduzem com a mesma força e velocidade. As alterações são tantas e tão brusca que, ao visitante menos informado, pode imaginar-se estar em ambiente de clima tropical-úmido. Mas essas foram as condições climáticas que precederam as atuais semi-áridas e permitiram o desenvolvimento de uma vegetação abundante, perenifólia e que foi base de sustentação para uma fauna de gigantes e majoritariamente herbívora (Pessis, 2003).

O relevo de *cuesta* é a principal e mais marcante característica do relevo do PNSC bem caracterizado ao longo de toda a borda soerguida da Província Parnaíba na forma de um planalto sedimentar homoclinal onde as estruturas sedimentares predominantes nesta região com camadas de baixo mergulho, entre 20-30° para NW e localmente praticamente horizontalizadas, definem e controlam a configuração da paisagem. Na área do PARNA Serra da Capivara é possível de observar um número elevado de feições geomorfológicas típicas de relevo *cuestiforme* (Figura 10).



Figura 10 - Aspectos geomorfológicos da área do PNSC: a – reverso da cuesta; b – front da cuesta; c – pedimento.
Foto: Autores (2023).

7.1. Os Locais de Interesse Geológico (LIG) no PNSC: Fragilidade e vulnerabilidade

Os elementos da geodiversidade de uma região e não apenas os locais de interesse geológico estão constantemente submetidos à ação dos agentes externos que podem ser, dependendo do tipo de ameaça, fragilizados, vulnerabilizados, degradados, descaracterizados ou mesmo destruídos (Fuertes-Gutiérrez et al., 2016; 2010; Brilha, 2016). Vem daí a necessidade de uma avaliação quanto ao risco de degradação a que está mais diretamente submetido. Segundo Brilha (2016) essa avaliação assume um papel decisivo e determinante quando da elaboração e implementação do plano de gestão e subsequente conservação desses LIGs.

O risco de degradação de um determinado local ou área está na dependência direta de vários fatores intervenientes e combinados, podendo ser citados as suas dimensões, vulnerabilidade, fragilidade, acessibilidade, distância de áreas com grande atividade e densamente povoadas, dentre outros. Quanto à fragilidade, esta representa o risco de degradação que dependem das suas condições naturais e independe da ação humana e será frágil quando a sua degradação for rápida. Diretamente relacionado e dependente direto da ação antrópica está a vulnerabilidade de um local de interesse geológico pois esta mede o risco de sua destruição ou descaracterização, passando a serem considerados vulneráveis quando a atividade humana agindo sobre o mesmo é capaz de afetá-lo ou mesmo descaracterizá-lo principalmente quando as suas dimensões forem bem reduzidas (Fuertes-Gutiérrez e Fernández-Martínez, 2010). Isto contribui para que, diante das estratégias de geoconservação a serem implementadas os locais de interesse geológicos com estas características, fragilidades e vulnerabilidades sejam priorizados. Todas essas intervenções e características contribuem para que o risco a que se expõe um visitante esteja diretamente relacionado a essas fragilidades detectadas e expostas em cada LIG, indicando aquelas que podem vir a ocorrer e comprometer a sua integridade física.

7.2. Riscos Geológicos nos Lugares de Interesse Geológico

Nas etapas de pré-campo, campo e pós-campo foram identificados, levantados, caracterizados e georreferenciados diversos locais onde a presença de processos da dinâmica superficial com algum potencial de desastre ou de causar danos potenciais aos visitantes sem, no entanto, ter sido possível identificar algum com risco muito alto a ponto de inviabilizar ou restringir o acesso e visitação por turistas. Em alguns casos mais críticos e onde este potencial, diante de determinadas situações, oferecer um risco maior necessário se faz tomar algumas medidas de precauções como sinalizações mais restritivas, presença sempre de um guia, o que já é prática estabelecida no PNSC, ou mesmo uma interdição da visitação quando dos períodos de chuvas mais intensas antes e depois dos mesmos.

Após finalizada a análise de todos os LIGs foi possível identificar os processos mais frequentes que atuam na área e aqueles com maior poder de risco, tais como:

- Quedas, tombamentos e rolamento de blocos rochosos (movimentos de massa);
- Deslocamentos de material rochoso;
- Infiltração;
- Salinização.
- Erosão pluvial.

Os processos de movimentação de massa respondem pelo transporte de um volume considerável de rocha e/ou solo cujo mecanismo se inicia quando partes desse material previamente instabilizado se desprende das partes mais altas das encostas e, segundo velocidades distintas, empreendem movimentos sob o comando da gravidade em direção à base. Este talvez seja o evento mais presente nos LIGs do PNSC e ainda de modo mais específico as quedas de blocos que movimentam desde fragmentos menores até os de grandes dimensões e com riscos e potencial de causar danos significativos. A instabilidade desses blocos, na sua grande maioria, advém de seu desconfinamento limitados que estão por descontinuidades responsáveis pela sua fragmentação. As descontinuidades ou diaclases abertas são indicativos desses pontos de fraqueza e sinalizam para um possível movimento

ou desprendimento do bloco o que pode ser visualizado em cada LIG pelo número significativo de blocos caídos no entorno do abrigo rochoso e muitas cicatrizes e blocos em balanço indicando quedas recentes. Esta situação precisa ser sinalizada e sempre motivo de chamada de atenção pelos guias par evitar transitar muito próximo das bases e evitar longos períodos de exposição na área de atingimento destes blocos quando de suas movimentações.

Rolamento de blocos é um processo de ocorrência frequente em alguns locais do PNSC como movimento posterior ao desprendimento de blocos rochosos dos paredões. Em alguns locais esse processo é de fácil identificação, mas no geral ele pode ser confundido com outras movimentações rochosas.

7.3. Inventário dos Locais de Interesse Geológico

O inventário de Locais de Interesse Geológico neste trabalho está representado por um pequeno número do total de local de interesse geológicos arqueo-geo-históricos já identificados e catalogados no acervo do PNSC pela equipe de pesquisadores da FUMDHAM (Fundação do Homem Americano) que integra o Instituto de Arqueologia, Paleontologia e Ambiente do Semiárido do Nordeste do Brasil – (INCT/CNPq/Inapas), com pesquisas nas áreas de Arqueologia, Registros Rupestres, Bioarqueologia e Paleontologia em parceria com diversos outros órgãos e instituições acadêmicas.

O PNSC conta com registro de mais de mil local de interesse geológicos com pinturas e gravuras rupestres pré-históricas o que constitui uma das maiores concentrações de local de interesse geológicos pré-históricos do mundo por quilômetro quadrado. Os registros rupestres pré-históricos, pintados ou gravados sobre as paredes e os afloramentos rochosos, é o seu maior atrativo cultural e aquele que recebe uma maior divulgação. São formas gráficas de comunicação registrados em abrigo sob rochas com grande variedade de cores e temas, com predomínio de cenas de caça, sexo e guerra, dentre outros. Nestes locais de interesse geológicos e arqueológicos mapeados foram encontrados pinturas, gravuras, vestígios líticos, vestígios cerâmicos, fogueiras, ossos de habitantes pré-históricos e um grande número de animais representantes da fauna pleistocênica que habitaram a região. Vinculado a estes valores artísticos, culturais e científicos o PNSC é possuidor de uma geomorfologia exuberante constituindo um cenário de uma beleza cênica ímpar e marcante resultado de processos geológicos e geomorfológicos esculpidos ao longo de todo o processo de formação e instalação da Província Parnaíba. Este processo continua nos tempos atuais sendo remodelado pela ação da erosão pluvial intensa que aproveita os sistemas de diáclases e vai aprofundando os vales, provocando quedas de blocos, formando cavidades, esfoliações que geram instabilidade nos maciços rochosos e, conseqüentemente, algumas situações de risco aos visitantes. Segundo Macêdo et al., (2021), mais de 90% dos locais de interesse geológicos e arqueológicos do PNSC estão sob forte controle da erosão hídrica. Para a preservação dos LIGs torna-se vital a identificação dessas áreas suscetíveis à erosão hídrica e às intempéries naturais.

Neste levantamento no PNSC foram inventariados os locais de interesse geológico (LIGs) com maior procura e que estão disponibilizados para os visitantes, inclusive para aqueles com necessidades de acesso especial como os cadeirantes, esses estruturados e adequados ao geoturismo com análise e consideração das características particulares e inerentes a cada um e a cada público potencial (Figuras 11 e 12). A grande extensão do PNSC e o número de local de interesse geológicos catalogados no seu acervo e que necessita de mais pesquisa, conhecimento e caracterização faz com que este estudo não seja um produto final de toda a importância e riqueza natural desta Unidade de Conservação e seu entorno.

A identificação das diáclases e sua relação com as feições geológico-geomorfológicas do terreno é um dado importante para o entendimento do relevo ruiforme comum e muito presente nas bordas sul e sudeste

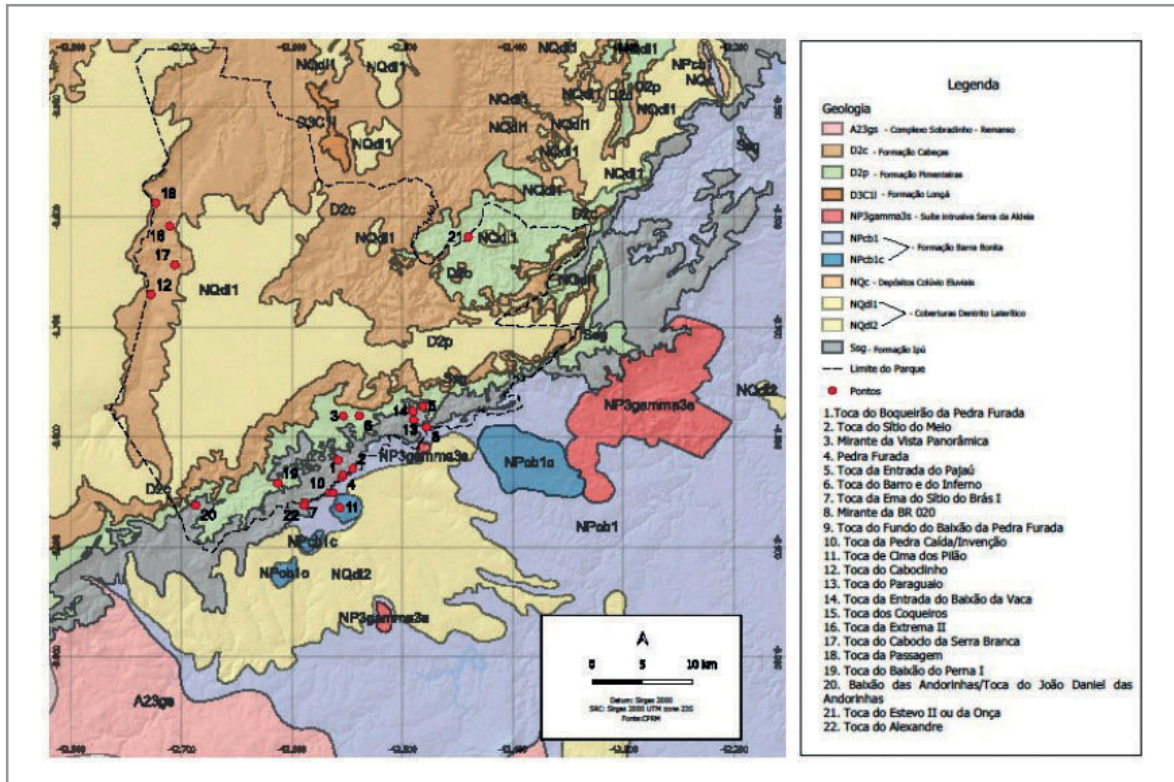


Figura 11 - Geologia da área de estudo com localização dos Locais de Interesse Geológico.
 Fonte: Adaptado de CPRM (2002).

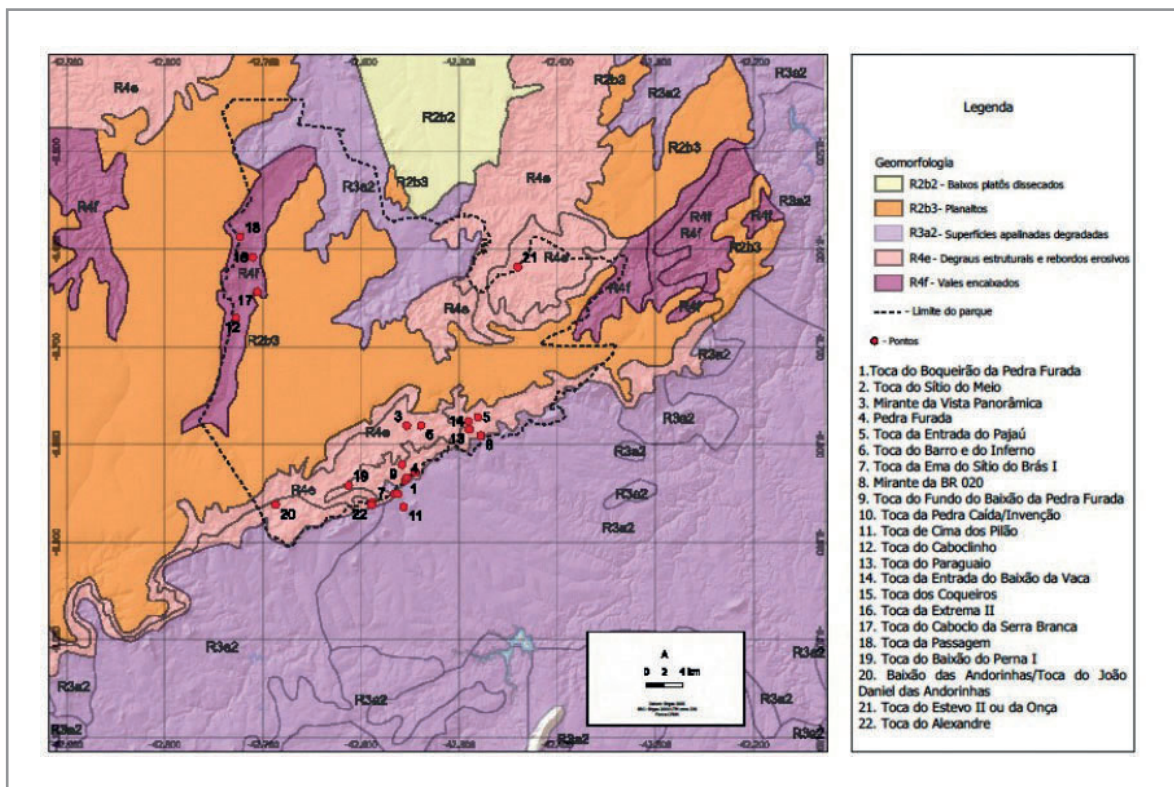


Figura 12 - Geomorfologia da área de estudo com localização dos Locais de Interesse Geológico.
 Fonte: Adaptado de CPRM (2002).

do PNSC por facilitar a infiltração das águas pluviais acentuando e criando condições favoráveis para a instalação do processo erosivo no seu trabalho de esculpir as mais diversas e peculiares formas possíveis de serem encontradas nestes ambientes, como a Pedra Furada, símbolo do parque (Barbosa & Furrier, 2012).

A erosão fluvial em tempos de clima mais úmido era de uma competência muito mais elevada que a atual, capaz de erodir intensamente essas rochas sedimentares com formação de escarpas abruptas e com relevo negativo. Segundo Suguio (1998), esse clima mais úmido dominou a região ao longo de 9.000 anos quando a vegetação local estava representada por uma flora similar à savana tropical do Brasil.

Os dados da tectônica, representado pelas diáclases, e sua interação com o clima mais úmido e o atual dão suporte para a compartimentação do relevo e da configuração estrutural e identificação dos processos de instabilização e individualização de blocos, deslocamentos e outros perigos identificados nos diferentes locais de interesses geológicos descritos a seguir e que podem oferecer riscos aos visitantes.

As diáclases representam fraturas parciais de um corpo em resposta a uma força aplicada (Suguio, 1999), possuem direções variadas de acordo com as direções dos esforços aplicados e têm importância significativa no modelado do relevo terrestre por constituírem pontos de fraqueza nas rochas facilitadores das ações erosivas (Guerra e Teixeira Guerra, 1997). A importância e ação das diáclases no modelado do relevo do PNSC são visíveis e bem denunciadas nas rochas sedimentares do Grupo Serra Grande e nas rochas das formações Pimenteira e Cabeças do Grupo Canindé. As direções das fraturas e pequenas falhas mapeadas nos diversos locais de interesse geológico apresentam fortes indícios de estarem relacionadas às direções dos dois principais lineamentos relacionados ao embasamento cristalino da Província Parnaíba (Barbosa & Furrier, 2012).

Os eventos geológicos associados ao soerguimento de estratos relacionados à orogenia paleozoica antes do supercontinente Gondwana passar por processo de fragmentação contribuíram para as feições geomorfológicas da área de estudo (Caputo et al., 2005). Fraturas e processos erosivos que atuaram sobre as estruturas cuestiformes da borda da Província Parnaíba derivam deste evento passando a exercer um forte controle estrutural nesta região, como bem evidenciado neste ponto (BARROS et al., 2012; BARBOSA & FURRIER, 2012; MUTZENBERG et al., 2015).

Nas imagens de satélites observadas para a área em questão e até mesmo com a utilização do Google Earth Pro (Figura 13) estas diáclases ficam bem marcadas evidenciando o forte controle exercido no modelado ruiforme do relevo muito bem representado pelo Monumento da Pedra Furada cuja evolução se deu a partir de uma fratura central de direção NW-SE que sofreu ação inicial da erosão fluvial seguida da eólica ao esculpir o buraco circular e que posteriormente lhe serviu de nome.

Portanto, sua identificação e caracterização reveste-se de suma importância para que medidas de proteção, controle e alerta sejam tomadas no sentido da maior segurança quando do uso dos mesmos.

7.3.1. Toca do Boqueirão da Pedra Furada

O local de interesse geológico corresponde a uma *cuesta* arenítica com litologias da Formação Ipu, do Grupo Serra Grande da Província Parnaíba, que pode ser dividida em três setores – um central e dois laterais – com uma grande fenda no setor central alargada pela erosão e identificado pelas coordenadas UTM 768835/9022386 (Figura 14).

A parte central ocorre em melhor estado de conservação apresentando apenas algumas cavidades por efeito da erosão, no entanto nas laterais observa-se um acentuado processo de desagregação de material rochoso com desprendimento de blocos cuja instabilidade recebe o contributo da

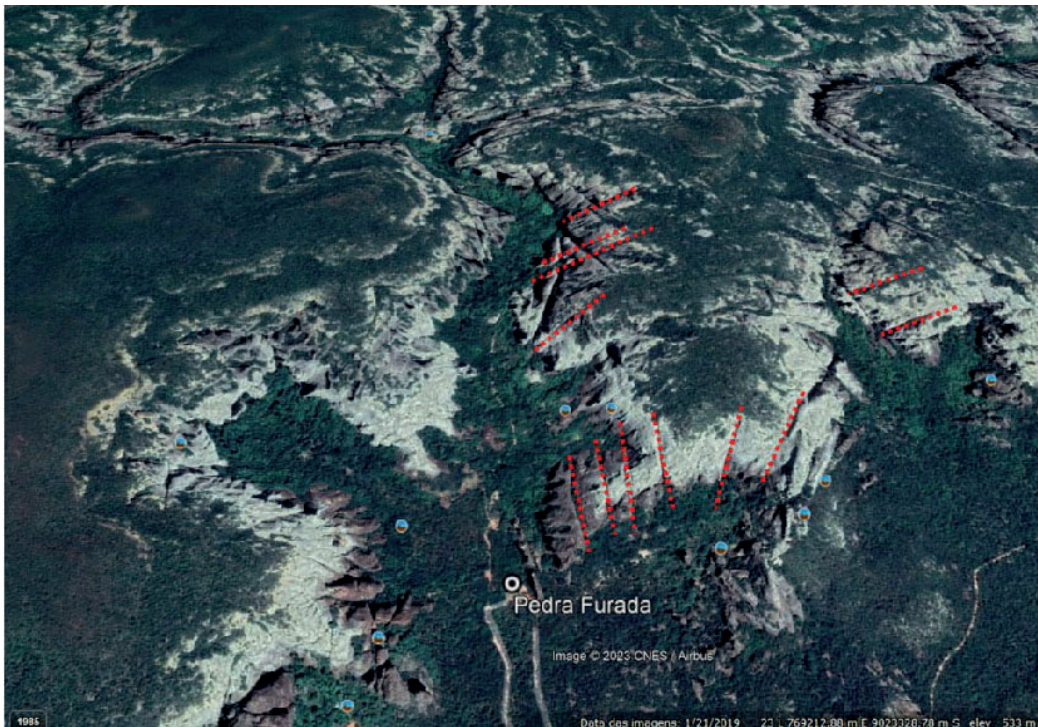


Figura 13 - Boqueirão da Pedra Furada com destaque para as diferentes direções dos lineamentos estruturais que controlam o relevo ruíniforme na área do PNSC. Fonte: Google Earth Pró acessado em maio de 2023.

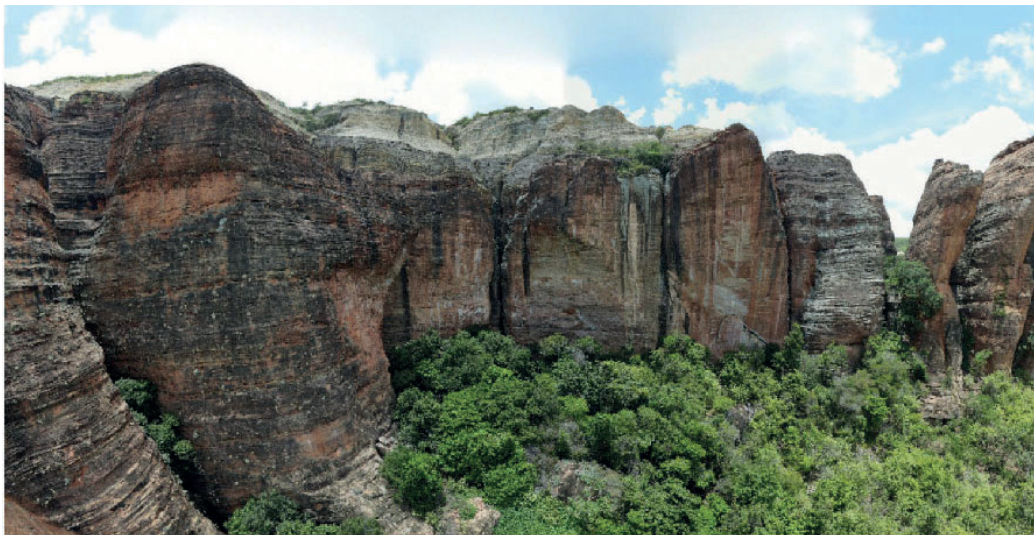


Figura 14 - Vista da área de localização da Toca do Boqueirão da Pedra Furada, com destaque para o forte controle tectônico e ação da água na compartimentação geomorfológica do relevo cárstico no PNSC. Foto: Autores, 2023.

eflorescência de sais que ocorrem nas diáclases e/ou descontinuidades entre as diferentes litologias ali expostas (Figura 15).

O Boqueirão da Pedra Furada é um abrigo em rocha de dimensões consideráveis e que apresenta na porção esquerda do acesso um caldeirão que recebe água da chuva e desce pela encosta por uma caída de água ou chaminé na rocha. A ação da água que escorre e infiltra no maciço rochoso

e a variação da temperatura local contribui para a instalação de processos de deslocamento e instabilização de blocos com elevado risco de tombamento (Figura 16).

Com uma altitude de 440m, o LIG está posicionado na baixa vertente com 80m de comprimento e 22m de largura, voltado para Sul e orientado na direção E-W. Sinais de infiltração são significativos com formação de muitos nichos, alvéolos e bolsões como ação da erosão diferencial contribuindo para o deslocamento e instabilidade pontual do maciço configurando pontos que oferecem risco aos visitantes. (Figura 17).

Um sistema de diáclases orientadas WSW-ENE condiciona o modelado do relevo ruíniforme de forma relevante instabilizando e individualizando blocos e criando condições, através das fendas abertas,

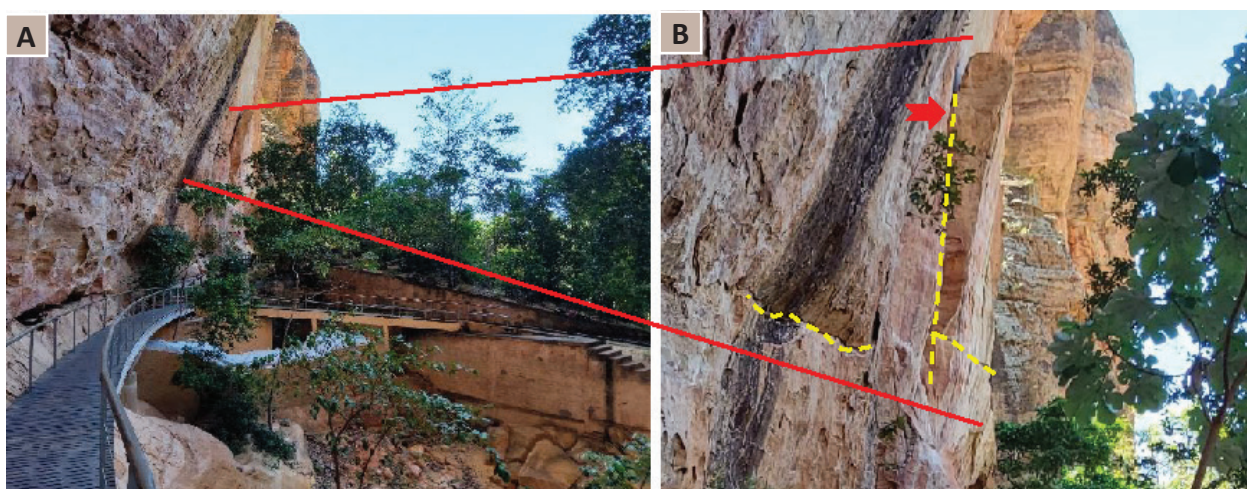


Figura 15 - Cuesta arenítica da Toca do Boqueirão da Pedra Furada. A foto a direita (b) mostra bloco em processo de desprendimento (seta vermelha) e individualizado por fratura na sua porção média (linhas amarelas), com forte tendência a tombamento e ponto de elevado risco aos visitantes.

Foto: Autores, 2023.

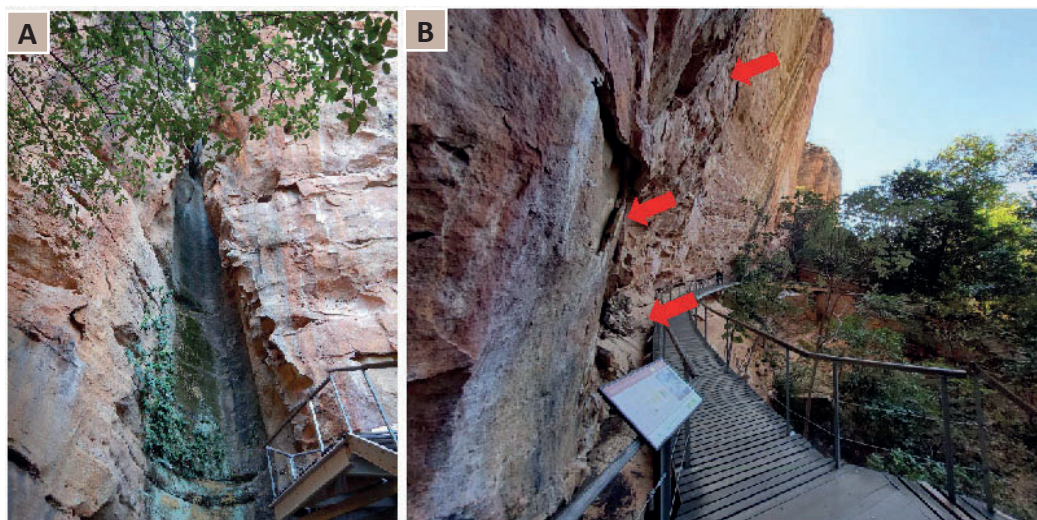


Figura 16 - Vista parcial do Boqueirão da Pedra Furada, com paredões verticalizados sob forte ação dos agentes erosivos, tectônicos e sinais da fragilidade do maciço rochoso: a) chaminé ou caída de água; b) pontos de deslocamento e queda de blocos. Foto: Autores, 2023.



Figura 17 - Paredões verticalizados evidenciando a ação dos agentes externos, água, vento e temperatura, na instabilização localizada do maciço rochoso. As imagens mostram pontos de fragilidade do maciço: deslocamento/esfoliação; blocos instáveis e nichos e ação da água ao escorrer sobre a encosta. Foto: Autores, 2023.

para que agentes erosivos atuem de forma mais direta e decisiva na desagregação de blocos. Um outro sistema de diáclases de direção NW-SE intercepta o anterior o que contribui para uma maior compartimentação e instabilização do maciço rochoso (Figura 18).

O maciço rochoso da Toca do Boqueirão da Pedra Furada mostra a importância e ação das diáclases no modelado cárstico do relevo do PNSC e através das direções deste elemento estrutural é possível estabelecer uma relação com os principais lineamentos mais diretamente relacionados ao embasamento cristalino. A erosão diferencial, de um modo geral, atua principalmente junto às camadas



Figura 18 - Sistema de diáclases sintectônicas facilitadoras na individualização e instabilização de blocos rochosos e no modelado cárstico das rochas siliclásticas da Formação Ipu no PNSC. Foto: Autores (2023).

de siltito em contato com o arenito e é ao longo desta descontinuidade litológica onde se observa a formação de cavidades nas paredes da encosta. A ação conjunta entre dissolução no interior do maciço rochoso, escoamento da água meteórica na superfície rochosa e variações na temperatura local exercem uma forte influência na formação de alvéolos, geração de esfoliação do arenito e criação de reentrâncias, tudo contribuindo para a ação de outros processos erosivos (ver figura 1). O risco aqui está representado por processos de deslocamento/esfoliação, tombamento e quedas de blocos e, neste último caso, aqueles em situação de instabilidade no topo e porção média da encosta.

7.3.2. Toca do Sítio do Meio

Posicionado a uma altitude de cerca de 450m, identificado pelas coordenadas UTM 770076/9023204, este abrigo sob rocha apresenta um comprimento aproximado de 750m com 20m de largura, encaixado entre dois paredões e voltado para Oeste e orientado para NE-SW. As litologias observadas neste local de interesse geológico descoberto em 1973 são de arenito com textura média a fina e níveis de siltito na base da encosta, com porção superior ou topo conglomerático (Figura 19).



Figura 19 - Vista da Toca do Local de interesse geológico do Meio, uma encosta com relevo negativo e sinais de movimentação de massa, com blocos caídos, outros em balanço e inúmeras cicatrizes de quedas de blocos.

Foto: Autores.

A origem do abrigo, como resultado da ação erosiva das águas de um rio que descia do boqueirão e tinha seu leito disposto na porção frontal da *cuesta*, pode ser confirmada a partir de dados obtidos de testemunhos de sondagem. O estudo e descrição deste material permitiu concluir que por volta de 20 mil anos atrás a força das águas deste rio foi responsável pela formação do abrigo e instabilização e queda de blocos em diferentes épocas. A presença de gravuras fornece dados de sustentação para este estudo. Desabamentos observados neste local de interesse geológico foram identificados e utilizados como ferramentas para explicar o desvio do curso de água e isolamento da toca, permitindo que a mesma fosse utilizada como abrigo. Presença de blocos instáveis, em balanço e cicatriz de queda de blocos podem ser observados por todo o local de interesse geológico como sinal de risco com perigo de atingimento (Figura 20).

Por toda a área disponibilizada para visitação, com acesso por passarelas bem seguras, há sinais indicativos de quedas de blocos. Os paredões expõem feições típicas de intemperismo químico e físico em pontos representados por deslocamento e formação de nichos (Figura 21).



Figura 20 - Blocos instáveis (a) e cicatriz de queda de bloco e feições de deslocamento/escamação no arenito (b), configurando movimentação de massa e locais de risco aos visitantes. Foto: Autores, 2023.

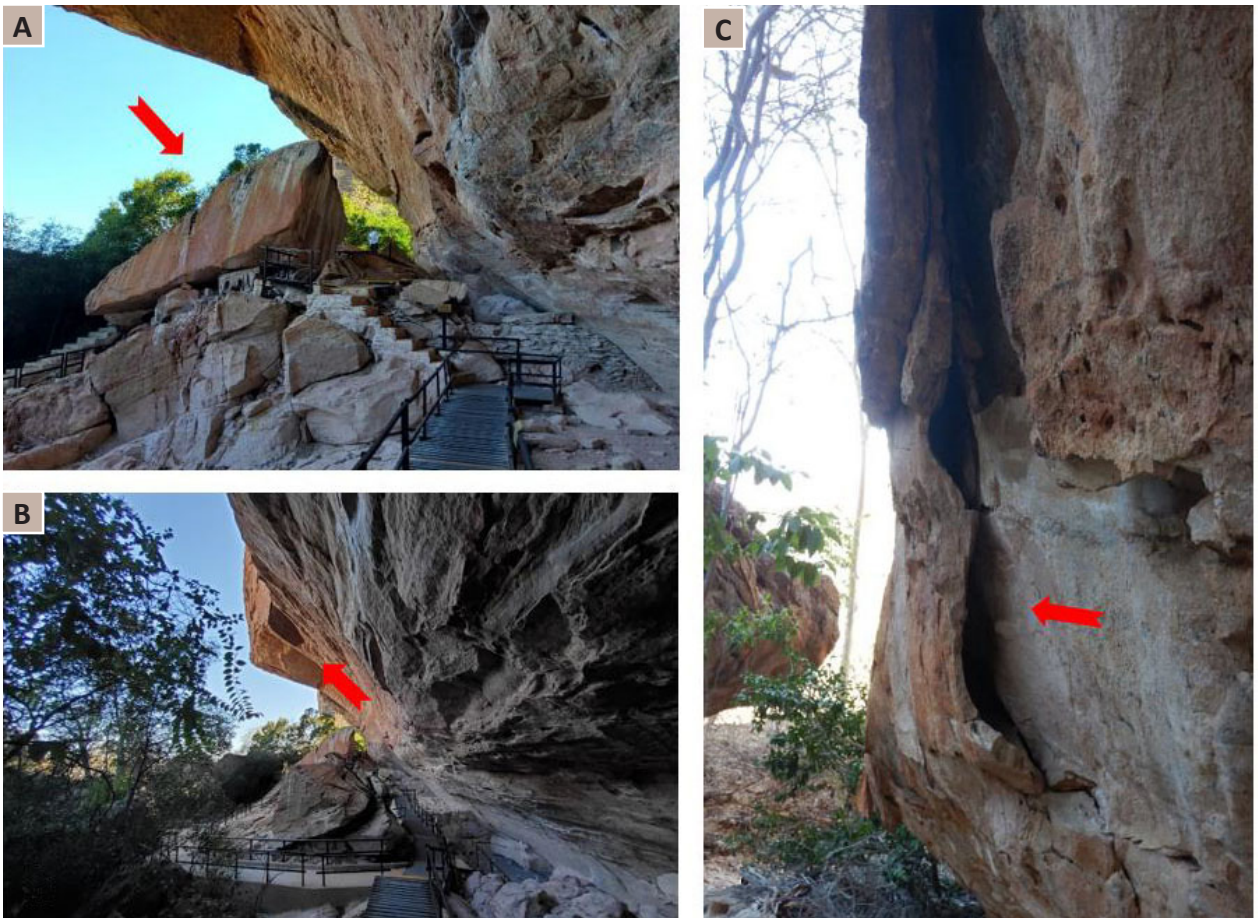


Figura 21 - Grande queda de blocos (a), com cicatriz e blocos em balanço (a, b) e deslocamento/esfoliação do arenito (c) em encosta com relevo negativo e risco para visitantes. Foto: Autores, 2023.

A encosta apresenta-se compartimentada por muitas fraturas e superfícies côncavas profundas o que contribuiu para o deslocamento do material rochoso instabilizado. Por todo o local de interesse geológico é comum a presença de blocos caídos da porção superior do teto e sinais ou marcas de movimentos e quedas de blocos, com cicatrizes recentes e blocos em balanço, o que permite classificar a área como de alto grau de risco e que merece atenção quando da disponibilização para visitação pública, principalmente no período chuvoso antes e depois da chuva (Figura 22).



Figura 22 - Grande quantidade de blocos caídos, cicatrizes recentes, sinais de deslocamento e formação de nichos como ação dos agentes de intemperismo em relevo negativo, neste caso água pluvial e variações climáticas confere ao local de interesse geológico um risco alto de atingimento a visitantes. Foto: Autores (2023).

7.3.3. Mirante da Vista Panorâmica

A paisagem que a vista alcança a partir deste ponto é imponente. Neste local de interesse geológico, identificado pelas coordenadas UTM 769145/9023071, encontra-se a mais completa e exuberante exposição dos arenitos e conglomerados da Formação Ipu, com pacote de conglomerado grosseiro subvertical e níveis de arenito avermelhado com mais de 50 metros de espessura. A vista do vale a partir deste ponto é magnífica, de onde se tem uma ideia da imponência e força dos processos geológicos utilizados pela natureza para formar essas rochas (Figura 23).

O LIG é um afloramento típico da Formação Ipu com pacotes de mais de 50 m de conglomerado grosseiro sub-horizontal e níveis de arenito vermelho em camadas tabulares. É possível de observação no pacote conglomerático de alguns elementos estruturais, como discordância angular e truncamento de estratos, que podem estar associados à atividade tectônica paralela à sedimentação. Estes dados dão suporte à hipótese da existência de um alto estrutural que funcionou como área fonte por um período de tempo considerável em ambiente fluvial entrelaçado, raso com diversos tipos de formas de leito de cascalho podendo estar associado a leques aluviais. Quanto aos depósitos da faixa arenítica podem estar associados a um ambiente fluvial entrelaçado pouco canalizado e com formação de barras arenosas (Figura 24).



Figura 23 - Vista panorâmica do pacote sedimentar da Formação Ipu do Grupo Serra Grande da Província Parnaíba: arenitos avermelhados na base, conglomerado grosseiro no topo e ao fundo os pelitos da Formação Pimenteira.
Foto: Autores (2023).

A ação da tectônica sobre esses pacotes sedimentares é muito forte e perfeitamente exposta rasgando os estratos e facilitando a ação de outros agentes erosivos, quer superficial, quer internamente (Figura 25). A água ao penetrar nessas diáclases exerce o seu papel erosivo, alargando-as e, individualizando torres ou pacotes num perfeito modelado de relevo cárstico em rochas siliclásticas (Figura 25). A meteorização física tem sua ação potencializada e facilitada na dinâmica da evolução do relevo pela dissipação das águas pluviais ao, preferencialmente, escorrerem pelas fraturas onde têm o seu fluxo mais concentrado e um maior poder de erosão, subsequentemente. A ação da meteorização química é facilitada quando as águas são retidas em porções mais alargadas dessas fraturas (bolsões), no interior do maciço rochoso, e aproveitando a porosidade das rochas sedimentares infiltra, dissolve e carrega os finos gerando condições para a evolução do relevo (Figura 25).

Nesse lugar de interesse geológico, é possível ter-se uma ideia da força e competência dos meios de transporte de materiais no processo de formação e deposição das camadas de arenitos e conglomerados com pacotes de mais de 50 metros de espessura. Esse LIG mostra toda a exuberância das formações geológicas exposta no PNSC. O local é de difícil acesso, exige força e cuidado para atingi-lo sem escorregar e não sofrer danos mais sérios. Muitos dos seixos no local de observação estão em processo de desprendimento constituindo risco ao atingir algum visitante, o que merece atenção por parte dos condutores e visitantes.

7.3.4. Pedra Furada

O monumento geológico “Arco do Triunfo da Pedra Furada” é um *carste* em arenito da Formação Ipu que se destaca no relevo dessecado com sinais que evidenciam processo de desagregação de material rochoso, presença de dutos menores ao longo das discontinuidades ou contato entre camadas e identificado pelas coordenadas UTM 769098/9023617. Exposto à ação direta

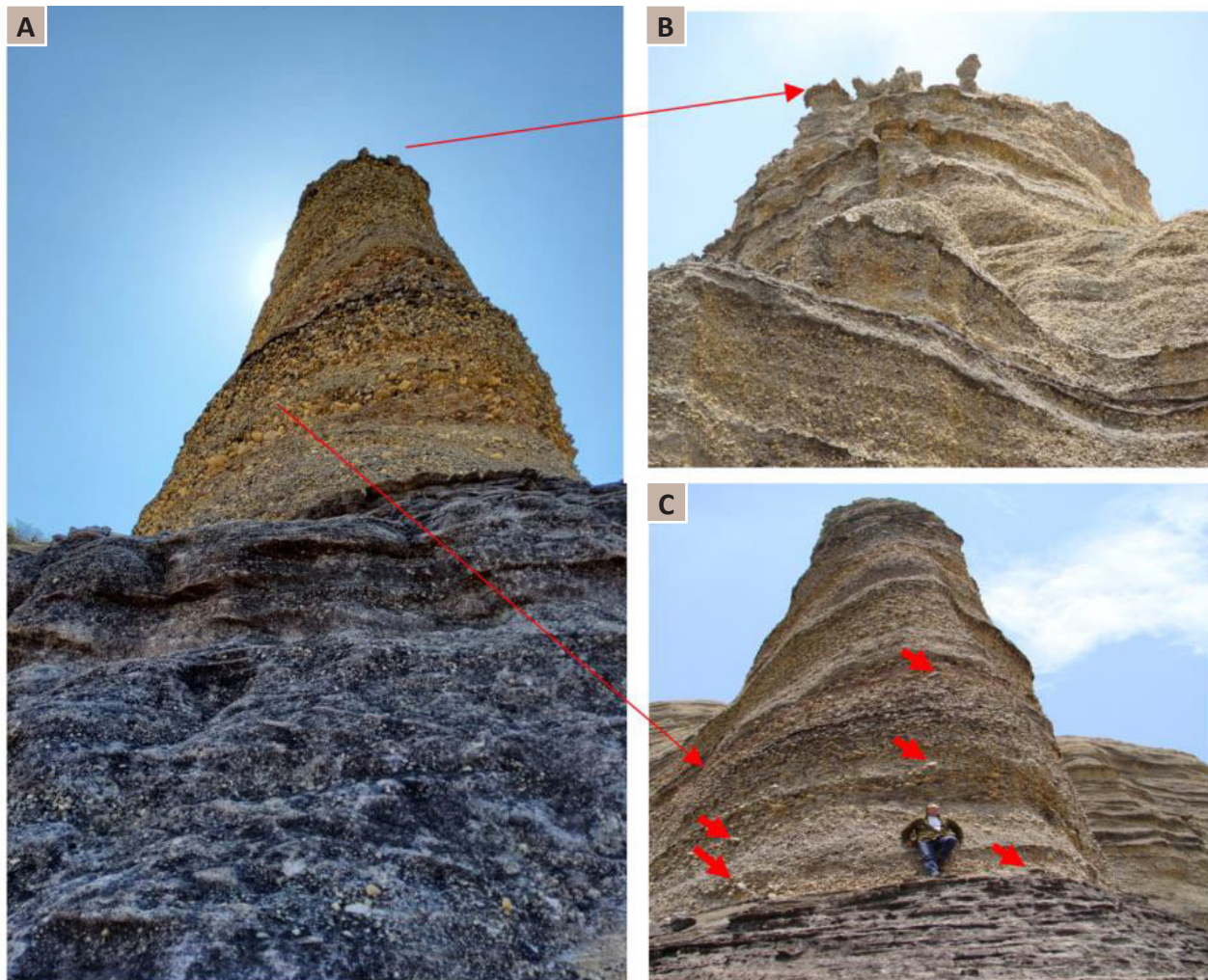


Figura 24 - Contato brusco entre arenito avermelhado (a) e conglomerado grosseiro (a). Erosão deixa instável blocos no topo (b), que podem cair e seixos decimétricos no conglomerado (c) que são lavados e poder perder a sua sustentação e rolar (p.e. setas menores). Foto: Autores (2023).

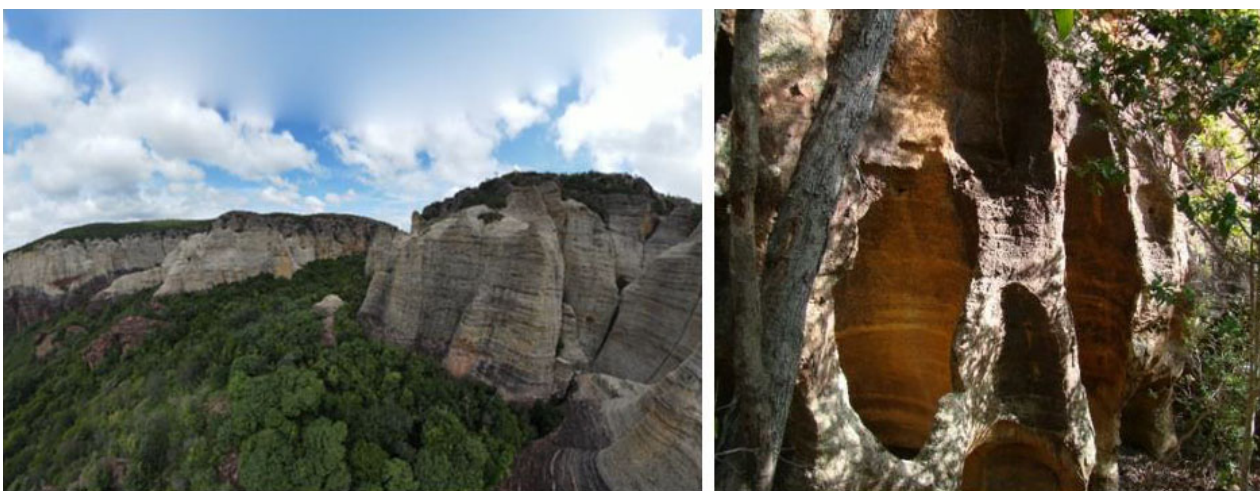


Figura 25 - Compartimentação geomorfológica, com individualização de torres ou blocos e bolsões, numa ação conjunta entre tectônica e agentes erosivos externos e internos. Foto: Autores (2023).

dos agentes erosivos, quer físicos, quer químicos, a instabilização do topo do maciço rochoso falhado e/ou fraturado potencializa o processo de desprendimento de estratos da superfície rochosa (Figura 26).

Dois sistemas de diáclases exerceram um efeito controlador das estruturas de formação deste monumento, com direções aproximadamente perpendiculares entre si, um com direção WSW-ENE e outro NW-SE, bem visíveis nas imagens de satélite. O sistema de fratura NW-SE condicionou a evolução da fratura que corta transversalmente o maciço rochoso que depois, sob a ação da erosão eólica diferencial, esculpiu o duto circular atualmente denominado de Pedra Furada (Figura 26). As direções destas diáclases parecem aproveitar-se das falhas do embasamento cristalino Pré-Cambriano que sustenta a Província Parnaíba (Figura 27).

O monumento é uma bela representação do *carste* em rochas siliclásticas, com duto central cortado por falha e outros laterais que já sofreram o processo de desestruturação ocasionado pela queda do arco superior. Estende-se por cerca de 70m de comprimento e 75m de altura (Figura 28).

O local de interesse geológico está representado por um paredão em arenito ao longo de um vale a uma altitude de 440 m, situado numa área de beleza cênica exuberante com cânions, escarpas, fundos de vales, planícies e uma vegetação de caatinga exuberante, como elemento paisagístico espetacular e que dá nome ao boqueirão – o local de interesse geológico e arqueológico da Pedra Furada. Estratificação horizontal de leitos longitudinais, depósitos residuais e de peneiramento são típicos de deposições continentais flúvio-glaciais do Siluriano (Lima Filho et al., 2003). Presença de



Figura 26 - Vista de frente (a) e trás (b) da imagem simbolo do PNSC com forte indícios do controle tectônico e da erosão hídrica no modelado da paisagem e os pontos de fragilidade do maciço rochoso: diáclases (1a), blocos em balanço (2b), possível contorno do arco que desabou (3a); testemunho de parte do arco que desabou (seta vermelha - a).

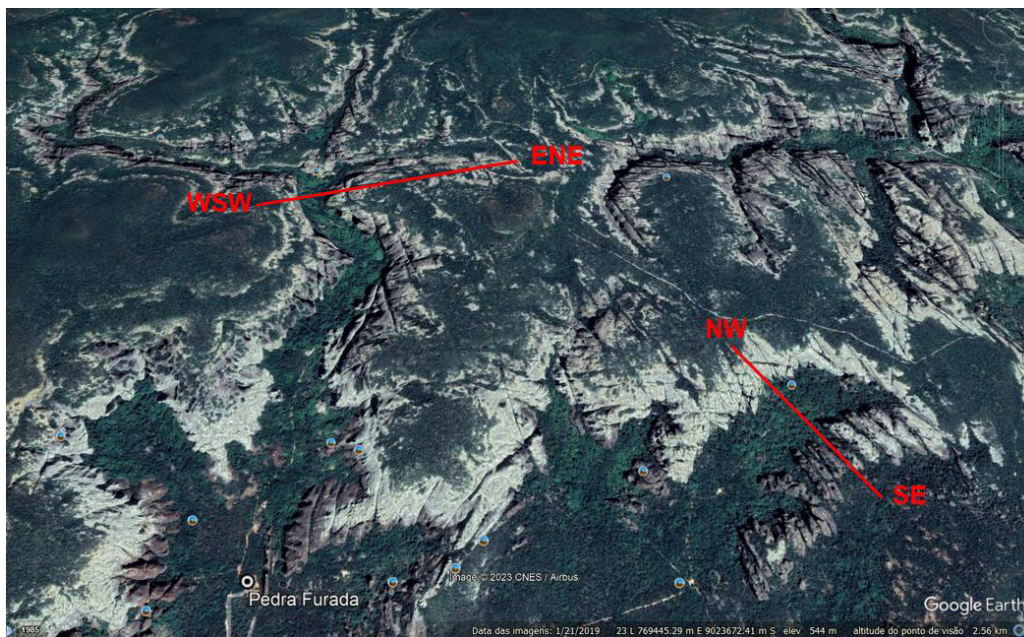


Figura 27 - Intersecções de sistemas de diáclases com orientações NW-SE e WSW-ENE nas proximidades da Pedra Furada e Boqueirão da Pedra Furada. Fonte: Earth Google Pro acessado em junho de 2023.

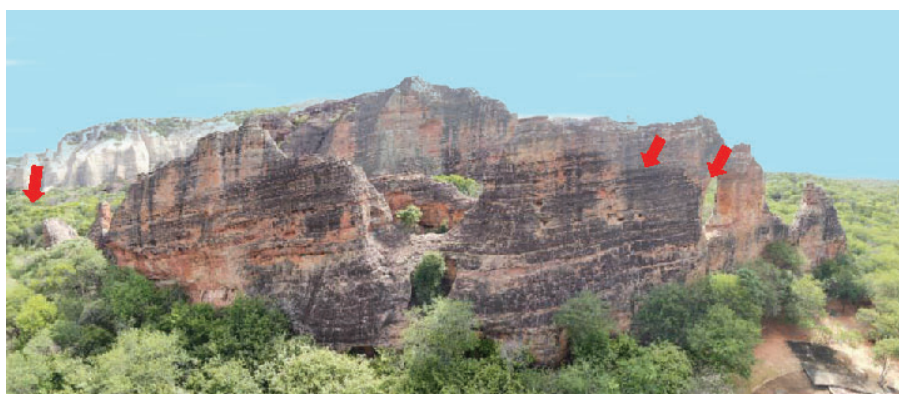


Figura 28 - Arenitos e conglomerados da Formação Ipu no Arco do Triunfo da Pedra Furada, com indicativos de dutos/furos que sofreram quedas dos seus arcos superiores (setas vermelhas). Foto: Autores (2023).

falhas e fraturas de direção NW-SE e NE-SW, predominantemente, e de modo paralelo ao próprio lineamento da borda sudeste da Província Parnaíba (ver figura 27).

Em toda a extensão do LIG são visíveis os efeitos desestabilizadores do maciço rochoso ocasionados pela ação erosiva da água meteórica ao alargar diáclases, ao penetrar no maciço e gerar, em ação conjunta com a temperatura, deslocamentos/esfoliação do arenito para além das feições típicas do processo de carstificação como os dutos e nichos ou alvéolos (Figuras 29 e 30).

Esse LIG apresenta sinais evidentes de processo de desagregação de material rochoso, principalmente na forma de deslocamento/esfoliação do arenito para além de queda de blocos (Figura 30), o que suscita cuidado e monitoramento quando da liberação para visitação pública ou eventos que causem reverberação de ondas sonoras, indispensável nos momentos que antecedem e depois de chuvas intensas pelos efeitos danosos e instabilizadores desses agentes de intemperismo (Figura 31).

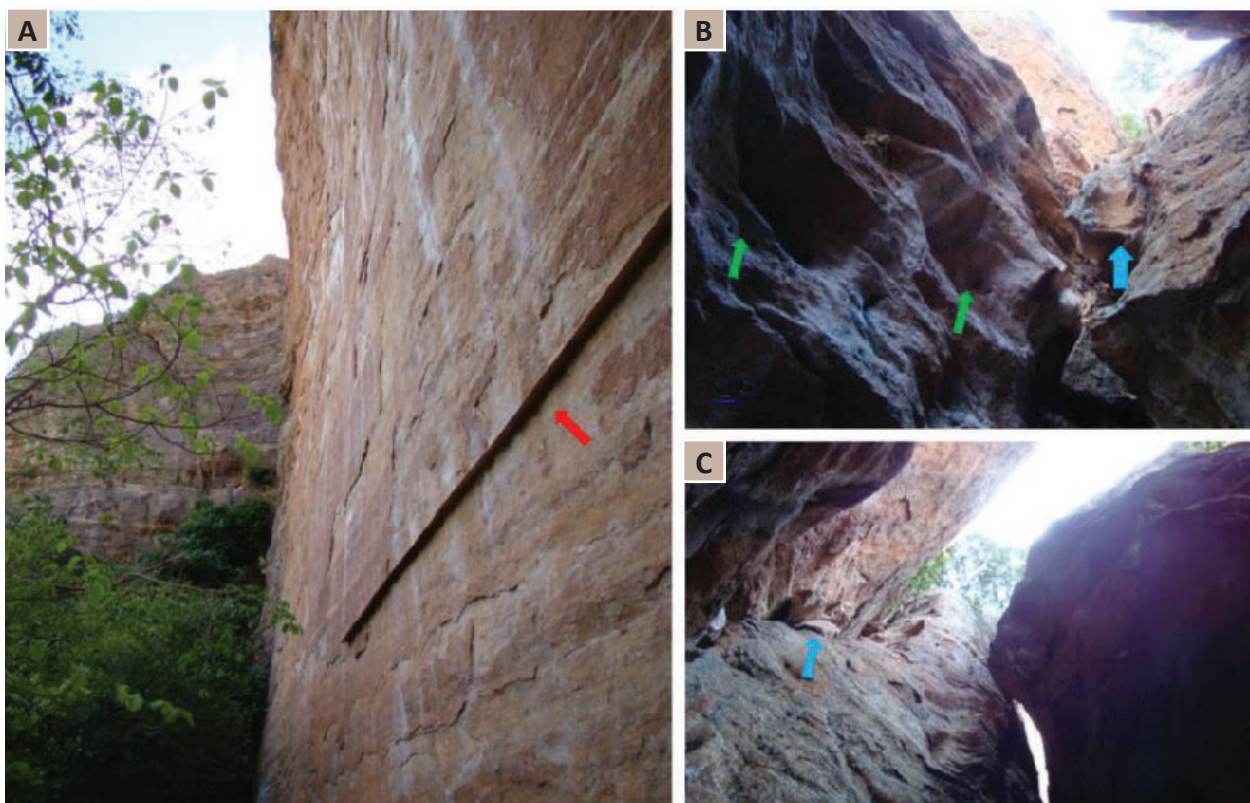


Figura 29 - Sinais de risco: deslocamento/esfoliação da encosta verticalizada (seta vermelha) e de ação erosiva da água com alargamento de fraturas, formação de alvéolos (setas verdes) e instabilização de blocos (setas azuis).
Foto: Autores (2023).



Figura 30 - Cicatrizes de quedas de blocos (setas amarelas), blocos em balanço (setas vermelhas) e dutos externos (seta azul) como indicativos dos efeitos instabilizadores dos agentes de intemperismo externos em ação conjunta com a temperatura ao deslocar a rocha com sinais da movimentação de massa e risco ao longo do maciço rochoso. Foto: Autores (2023).

Os sinais de instabilidade de blocos e de individualização de estratos por efeito da ação erosiva da água que, ao penetrar no maciço rochoso percorre-o até encontrar uma descontinuidade definida por um estrato mais fino onde efetivamente vai carrear os constituintes mais finos deixando parte do estrato comprometido e em condições de movimentar-se. Toda a parte superior do maciço



Figura 31 - Arco superior do furo central do LIG da Pedra Furada com indicativos de pontos de fragilidades que conferem ao mesmo um grau elevado de risco a movimentos de massa: queda de bloco em balanço (setas 1, 2); tombamento de blocos (setas 3, 4); linha amarelas em traço (diáclases); linhas amarelas traço ponto (descontinuidades). Foto: Autores (2023).

rochoso onde está localizado o furo principal do LIG apresenta estas condições de forma nítida como assinalado na figura anterior. A parte superior do furo central encontra-se atualmente nas mesmas condições em que os outros dois furos laterais encontravam-se antes das suas porções superiores desprenderem-se em épocas pretéritas. Para este local de interesse geológico é desaconselhável a prática de rapel ou qualquer outra atividade que implique em se chegar à porção média da encosta e muito menos ao seu topo.

7.3.5. Toca da Entrada do Pajaú

Abrigo instalado a meia vertente a uma altitude aproximada de 510m com cerca de 30m de comprimento por 13m de largura e frente voltada para NW e orientada na direção E-W e identificado pelas coordenadas UTM 777133/9029431. A rocha arenítica que constitui predominantemente o paredão apresenta textura fina e intercalações de camadas de conglomerado grosseiro. O efeito da erosão eólica aqui é significativo o que tem contribuído para a presença de processo de escação no arenito por força das partículas de areia que são lançadas contra a parede pela força do vento (Figura 32).

A forma dômica do local de interesse geológico parece ter contribuído para sua utilização e melhor suporte para as pinturas. Todo o paredão está submetido a instalação de processos de desagregação da rocha como resposta ao clima atual o que tem comprometido fortemente o bom estado das pinturas (Figura 33). A queda de blocos tem contribuído para que muitas dessas pinturas tenham desaparecido e/ou comprometidas o que pode facilmente ser comprovado ao se comparar o estado atual do abrigo e aquele observado em fotografias tiradas em 1970 quando ocorreu a descoberta do local de interesse geológico (Bucu, 2011).

Quando deste levantamento foi possível observar cicatrizes de desprendimento de blocos/estratos e deslocamento/esfoliação de dimensões consideráveis e outros tantos em situação de forte



Figura 32 - Forma dômica da Toca da Entrada do Pajau, um LIG fortemente submetido à ação erosiva do vento sobre o arenito fino e da tectônica. Foto: Autores (2023).



Figura 33 - Toca com forma dômica fortemente erodida pela força do vento sobre arenito fino e camadas intercaladas de conglomerado grosseiro (cg), com desagregação do arenito (dg), deslocamento (dp) e esfoliação (ef). Foto: Autores (2023).

instabilizações. As esfoliações no arenito ocorrem com a formação de uma “crosta” perpendicular à estratificação como efeito conjunto entre umidade e temperatura; o deslocamento neste LIG ocorre com quedas dos blocos formados pela individualização seguido da instabilização dos estratos por percolação da água ao longo das discontinuidades entre estratos com deslocamentos do teto e porções inferiores a nível do terreno onde estes efeitos são bem visíveis. As diáclases mapeadas na parte externa do maciço rochoso foram alargadas pela ação da água meteórica com instabilidade de blocos, também são vistas no interior da toca e neste caso sem sinais de percolação da água (Figura 34).



Figura 34 - Sinais de instabilidade do maciço rochoso: internamente com deslocamento e quedas dos estratos (a e b) e externamente por alargamento das diáclases (linhas pontilhadas) com movimentação de blocos (c).
Foto: Autores (2023).

O clima atual tem contribuído para a instalação de processos de desagregação da rocha, comprometendo o bom estado das pinturas onde muitas dessas já desapareceram pela queda dos blocos. Cicatrizes de degradação e desprendimento de estratos são bem visíveis nas paredes deste local de interesse geológico onde chegam a descaracterizar algumas pinturas porque parte das mesmas encontravam-se na parte da rocha que caiu. O risco de grau médio atual está relacionado a quedas de seixos e de blocos em balanço e deslocamentos localizados. Os riscos aqui são potencializados e relacionados à erosão eólica, amplitudes térmicas, deslocamentos, diáclases, ação das águas pluviais e eflorescência salina.

7.3.6. Toca do Barro e do Inferno

A utilização do barro encontrado na base do maciço rochoso como material de impermeabilização em buracos escavados no solo para coleta da seiva a ser extraída após “sangria” da maniçoba para fabricação de borracha, que constitui a base da fabricação da goma de mascar, deu nome ao local de interesse geológico, identificado pelas coordenadas UTM 776752/9028505.

As litologias expostas no paredão correspondem a arenitos grosseiramente estratificado e conglomerado com imbricamento de seixos indicativo da direção da paleocorrente para SW. O local de interesse geológico está localizado no fundo de um vale com cânion escavado na rocha, representado pela Toca do Inferno de coordenadas UTM 776752/9028508, e seu paredão com mais de 50m de arenito e conglomerado (Figura 35), com queda de blocos e outros instáveis para além de deslocamento de blocos e paredões sobre forte efeito da erosão hídrica constituindo um LIG com elevado grau de risco aos visitantes, principalmente em períodos pós-chuva (Figuras 36).

O conglomerado grosseiro com seixos decimétricos tem sido alterado significativamente pela ação da água meteórica que escorre do teto até a base lavando e retirando os finos de cimento que envolve os seixos, deixando-os instáveis e com elevada probabilidade de se soltarem e caírem, o que é comprovado pelas marcas encontradas na parede do abrigo (Figura 37).



Figura 35 - Arenitos da Formação Ipu no cânion da Toca do Inferno (a, d), com paredões com sinais de forte erosão hídrica (b, d), com blocos em balanço (a, c) e caídos (c, e), outros instáveis e presos na parede mais fechada com relevo negativo (b, d).

Foto: Autores (2022).



Figura 36 - Contato conglomerado grosseiro e arenito conglomerático da Formação Ipu, submetidos a processos de deslocamento na base do arenito e esfoliação e seixos instabilizados no conglomerado. Configurando situações de riscos.
Foto: Autores (2023).

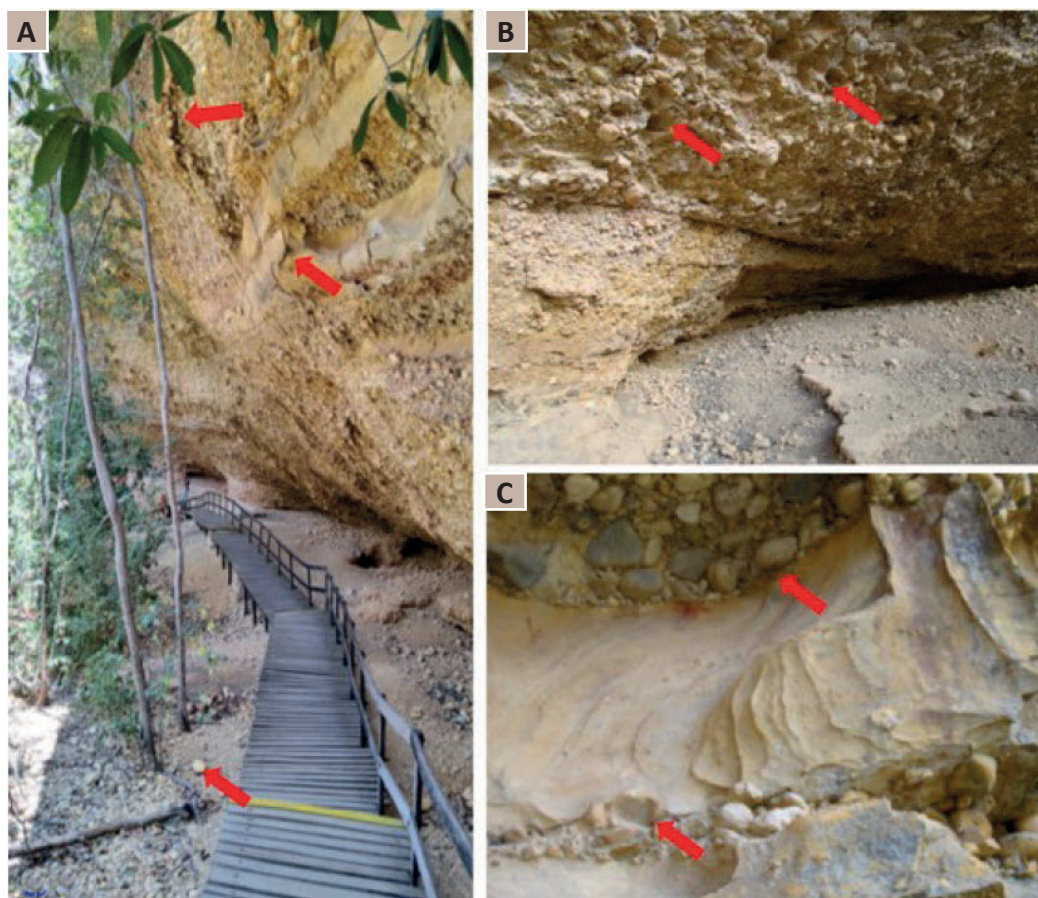


Figura 37 - Conglomerado grosseiro com elevado risco de queda de desprendimento de seixos (a, c) e marcas deixadas pelos seixos que caíram (b, c), e pontos em processo de "esfoliação" (a) cicatrizes de deslocamentos nas intercalações do siltito (a) e sinais de erosão hídrica (c). Foto: Autores (2023).

As diáclases assumem proporções mais alargadas pelo efeito da erosão contribuindo para a formação de blocos individualizados e na eminência de queda. Grandes placas do conglomerado encontram-se praticamente soltas e em posição de escorregamento como resultado da ação conjunta da erosão pluvial e temperatura. O risco de seixos se soltarem do maciço é elevado e atingir o visitante, risco este que aumenta em situações de relevo negativo como observado neste LIG (Figura 38).



Figura 38 - Paredões íngremes com forte tendência a desprendimento de seixos (a, b, c, d), queda de blocos instáveis (a, d) e deslizamento de blocos conglomeráticos instabilizados pelo processo de esfoliação (c). Foto: Autores (2023).

Como na maioria dos LIGs aqui pesquisados, fica evidente o forte controle tectônico através do sistema de diáclases na evolução morfológica do PNSC como meio facilitador e potencializador da ação erosiva da água das chuvas no acesso ao interior dos maciços rochosos gerando, em ação conjunta com a temperatura, instabilizações e quedas de blocos, queda de seixos e esfoliações frontais nos paredões. Como resultado final da ação conjunta de todos estes elementos tem-se diferentes pontos em situações de risco de grau médio para os visitantes, alguns apontados nas figuras relacionadas a estes LIG.

7.3.7. Toca da Ema do Sítio do Brás I

Abrigo sob rocha em arenito e intercalações de siltitos da Formação Ipu, do Grupo Serra Grande, que se estende por cerca de 60 metros de comprimento e uma altura que varia entre os 5 a 28 m e identificado pelas coordenadas UTM 765260/9019810.

Uma superfície de descontinuidade estabelecida na zona de mudança deposicional dos estratos está bem marcada pela ação dos agentes erosivos que ressaltam a fragilidade desta mesma zona de transição. A ação intensa da erosão pluvial mascara as estruturas primárias de deposição do arenito, conferindo ao local de interesse geológico um elevado grau de risco a movimento de massa,

principalmente queda de blocos, bem marcado pelo número significativo de blocos caídos por toda a extensão do abrigo e outros em estado de elevada instabilidade como se nota na porção superior do maciço na altura do acesso principal a este LIG (Figura 39).

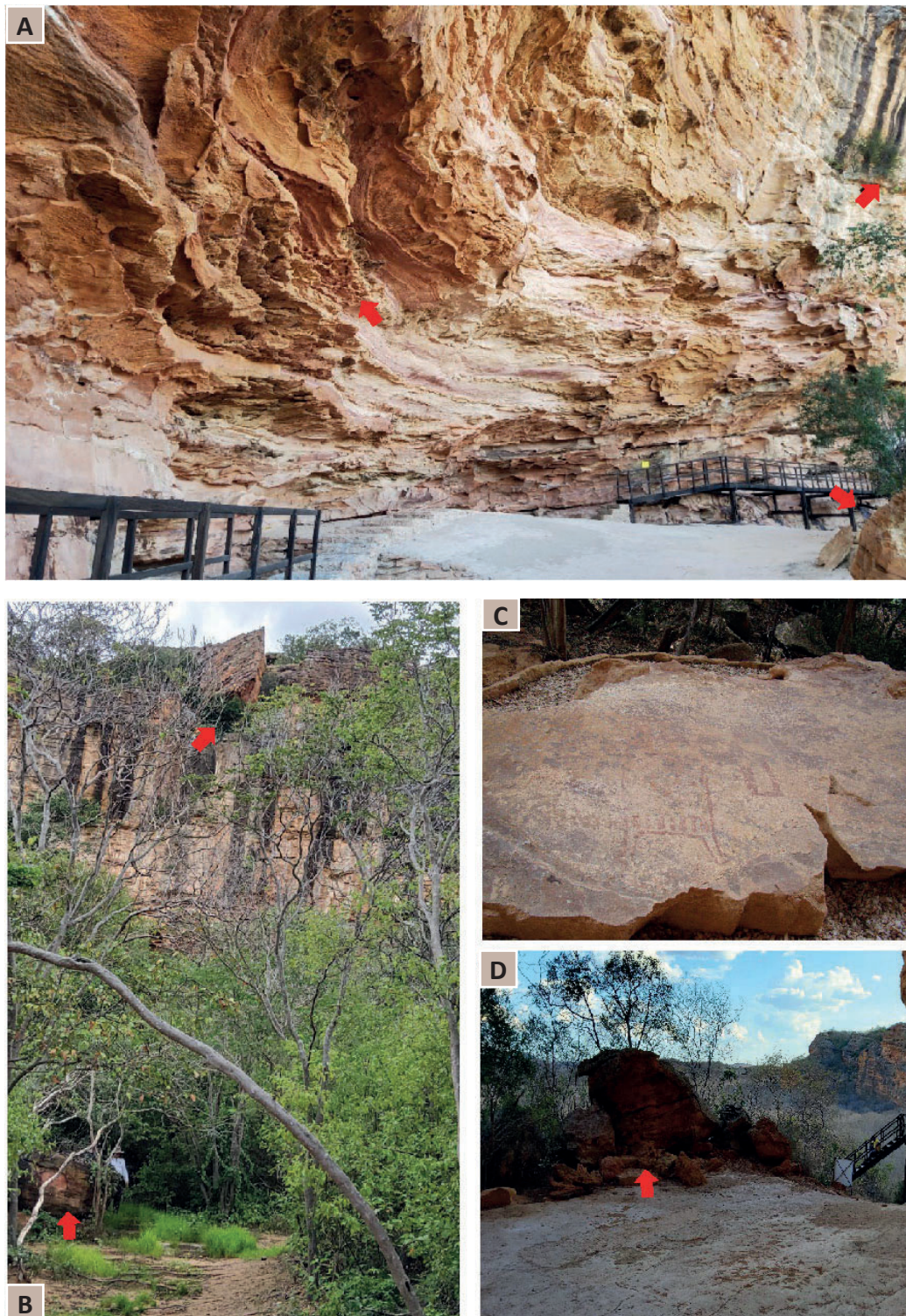


Figura 39 - Vista geral da parte frontal do abrigo talvez o local mais afetado pelos efeitos erosivos das águas da chuva a escorrer desse o topo até a sua base (a, b); número significativo de nichos e alvéolos (a); bloco instável sobre acesso principal ao local (b); blocos caídos (a, b, c, d). Foto: Autores (2023).

A presença de uma linha de água cujo leito estava posicionado em frente ao abrigo do paredão é denunciada pelas gravuras cupuliformes ali encontradas. Outro dado importante e que vem a confirmar a passagem de uma linha de água na frente do abrigo foi a descoberta, após escavações, de várias marmitas ou *kamenitzas* ou panelões que são feições erosivas originadas por fortes correntes de água do tipo turbilhonar e que também são indicativas de que um regime tropical úmido predominou nesta região por um tempo considerável. Segundo datações este regime perdurou até cerca de 8.000 anos AP, dados estes utilizados para explicar a presença de espécies da megafauna até 6.000 anos AP (Guidon et al., 2002).



Figura 40 - Feições de fragilidade do maciço rochosos que gera riscos de quedas e desprendimento de blocos diante da forte ação das águas meteóricas com formação de nichos e alvéolos (a, c), erosão ao longo do contato arenito-siltito (a), presença de blocos em balanço (a, b), cicatrizes de quedas de blocos (a, b) e marcas de forte escorrência da água do topo à base do maciço (b). Foto: Autores (2023).

O local de interesse geológico encontra-se em elevado grau de degradação e fragmentação da parede rochosa e, em consequência, há um número elevado de blocos e placas que se desprenderam dos paredões. Presença significativa de nichos erosivos e alvéolos nas paredes e em praticamente todo o abrigo onde a ação dos processos erosivos é muito evidente chegando a mascarar as estruturas

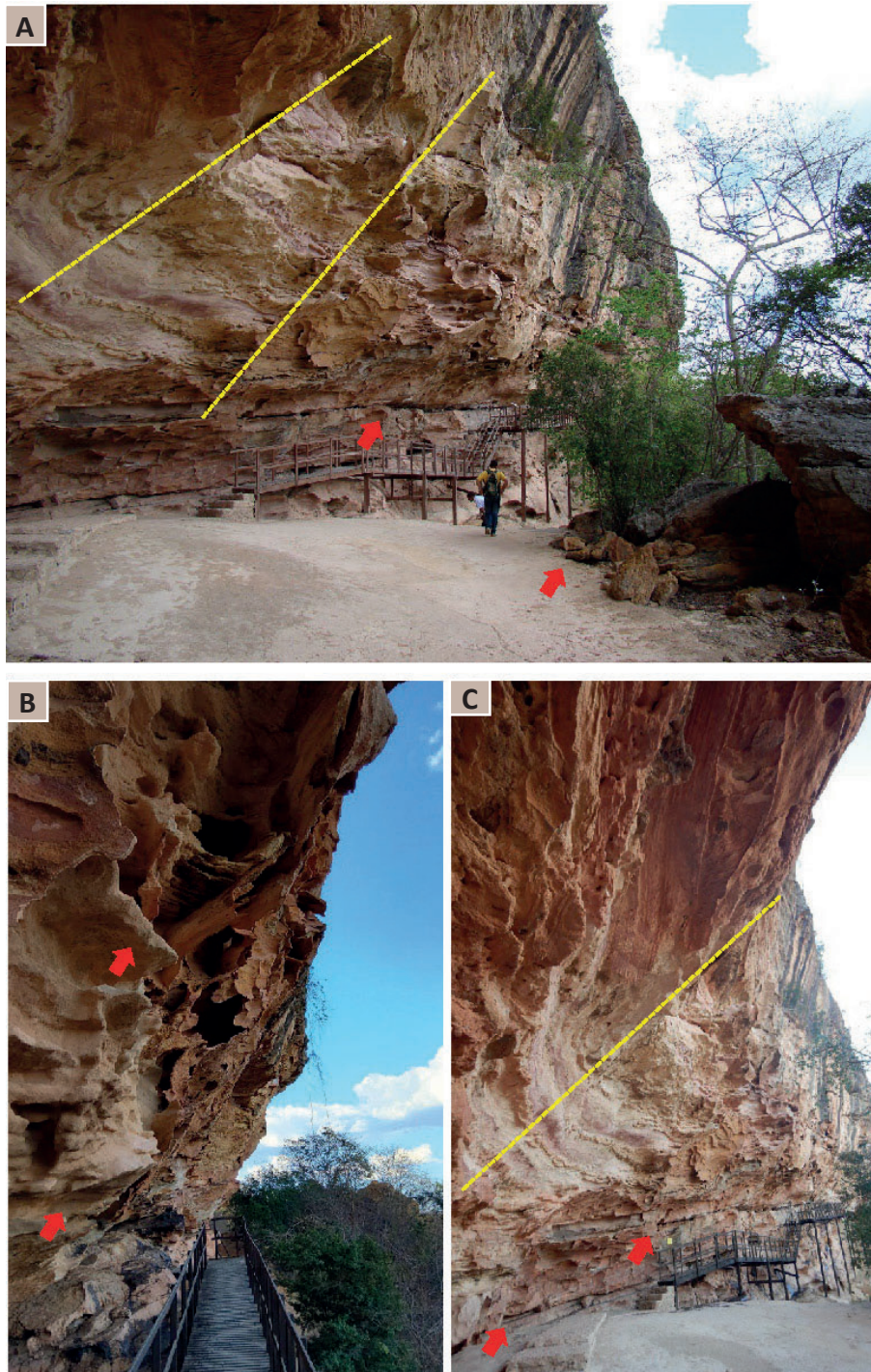


Figura 41 - Pontos de fraqueza do maciço rochoso: diáclases (linha tracejada em amarelo em a, c) que facilita a ação erosiva da água com intensa alveolização (b); carreamento de finos nos contatos entre arenito-siltito, facilitando a individualização e instabilização de blocos (a, c, c); e sinais de risco elevado de movimento de massa, com possibilidade de atingimento (a, b, c, c). Foto: Autores (2023).

de deposição e estratificação das litologias ali aflorantes. Ao longo de toda a zona de contato entre os siltitos e arenitos estão os pontos de maior fragilidade e ação dos processos erosivos o que confere a esses blocos uma maior fragilidade e instabilidade culminando na desagregação e queda dos mesmos (Figura 40).

Por toda a extensão do local de interesse geológico, e principalmente na parte frontal, encontram-se blocos de diferentes tamanhos que foram desagregados pela força da erosão. O grau de desagregação e fragmentação dos blocos neste local de interesse geológico é bastante elevado como também o risco oferecido pelos mesmos diante da possibilidade de eventuais quedas. É considerável o número de nichos formados na parede do local de interesse geológico, na sua maioria preenchidos por pinturas bem como de intensa alveolização e dutos internos indicativos de circulação de água subterrânea em tempos pretéritos o que confere ao maciço rochoso uma maior fragilidade. Blocos e placas desprendidos das paredes rochosas encontram-se no solo, localmente cobertos por material arenoso fino que cai dos paredões, como efeito da erosão eólica (Figura 41).

Este LIG apresenta-se sob forte ação dos agentes erosivos externos (água, vento, temperatura), com indicativos de pontos de elevada fragilidade com feições de esfoliação, fraturas, cicatrizes de quedas, blocos em balanço, estratos individualizados pelo efeito da circulação de água interna para além de um sistema de diáclases distribuído por todo o maciço, caracterizando o local como de elevado grau de risco com atingimento, principalmente em períodos pós-chuvas intensas.

7.3.8. Mirante da BR 020

Afloramento com estratificação cruzada planar de médio porte da Formação Ipu, identificado pelas coordenadas UTM 777498/9027316, composto por quartzo-arenito de granulação grossa e mal selecionada apresentando níveis seixosos/cascalhosos, mergulho de baixo ângulo de 20-25°, e indícios de paleocorrentes de direção entre 210°Az a 300°Az. Os sets de estratificação cruzada planar estão limitados pelos níveis de seixos. As camadas tabulares de arenito podem ser interpretadas como migração de barras transversais de areia. Os conglomerados ocorrem nestes locais com estratificação horizontal de depósitos residuais. Exposição de diamictito com dropstones facetados indicando origem glacial (Figura 42).

O arenito conglomerático e diamictito da Formação Ipu, como depósitos de ambiente fluvial anastomosado com influência perigracial, afloram neste local de interesse geológico em contato direto com xisto do embasamento através de falha subvertical (inconformidade) (Figura 43). O diamictito apresenta-se constituído por uma matriz areno-argilosa na qual estão dispersos dropstones de quartzo, quartzito e litoclastos de arenito. O conglomerado ocorre com matriz arenosa com clastos de até 30cm, angulosos e subarredondados. O micaxisto de cor cinza, brilhosa, apresenta-se cortado por veios preenchidos por quartzo.

Encosta apresenta-se submetido a um número considerável de fraturas, com individualização de blocos sujeitos a movimentação. Na porção superior do maciço rochoso um sistema de fraturas individualiza blocos instáveis e com elevada suscetibilidade a movimentação e potencial risco de queda. Presença de relvo ruiforme na forma de pináculos ou elevações aciculares são observados neste ponto apresentando elevado grau de faturamento aberto caracterizando uma instabilidade elevada e risco de queda e tombamento de bloco. De fácil observação no sitio e indicativo da fragilidade e instabilidade no maciço rochoso é a presença de um número considerável de blocos rolados, fraturas abertos e blocos instáveis (Figura 44).

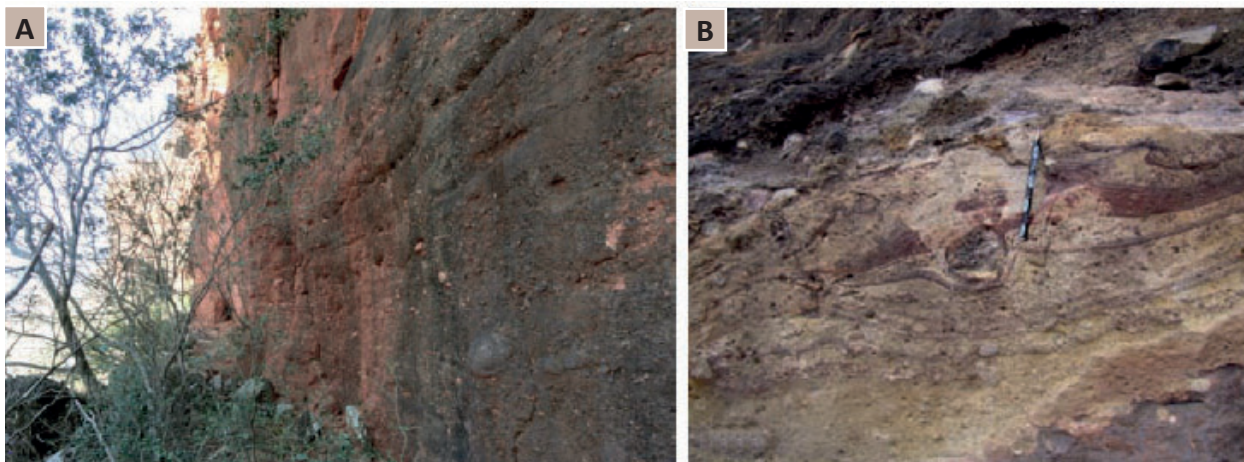


Figura 42 - Arenitos conglomeráticos da Formação Ipu depositados em ambiente fluvial com influência periglacial (a, b). No detalhe, diamictito com dropstone em detalhe (b) de origem glacial. Foto: Autores (2023).



Figura 43 -Exposição de Arenitos conglomeráticos da Formação Ipu em contato por falha normal com xistos do embasamento e diamictitos, depositados em ambiente fluvial com influência periglacial (a). Presença de blocos rolados, torre com fratura aberta e instabilidade de blocos (b, c). Foto: Autores (2022).

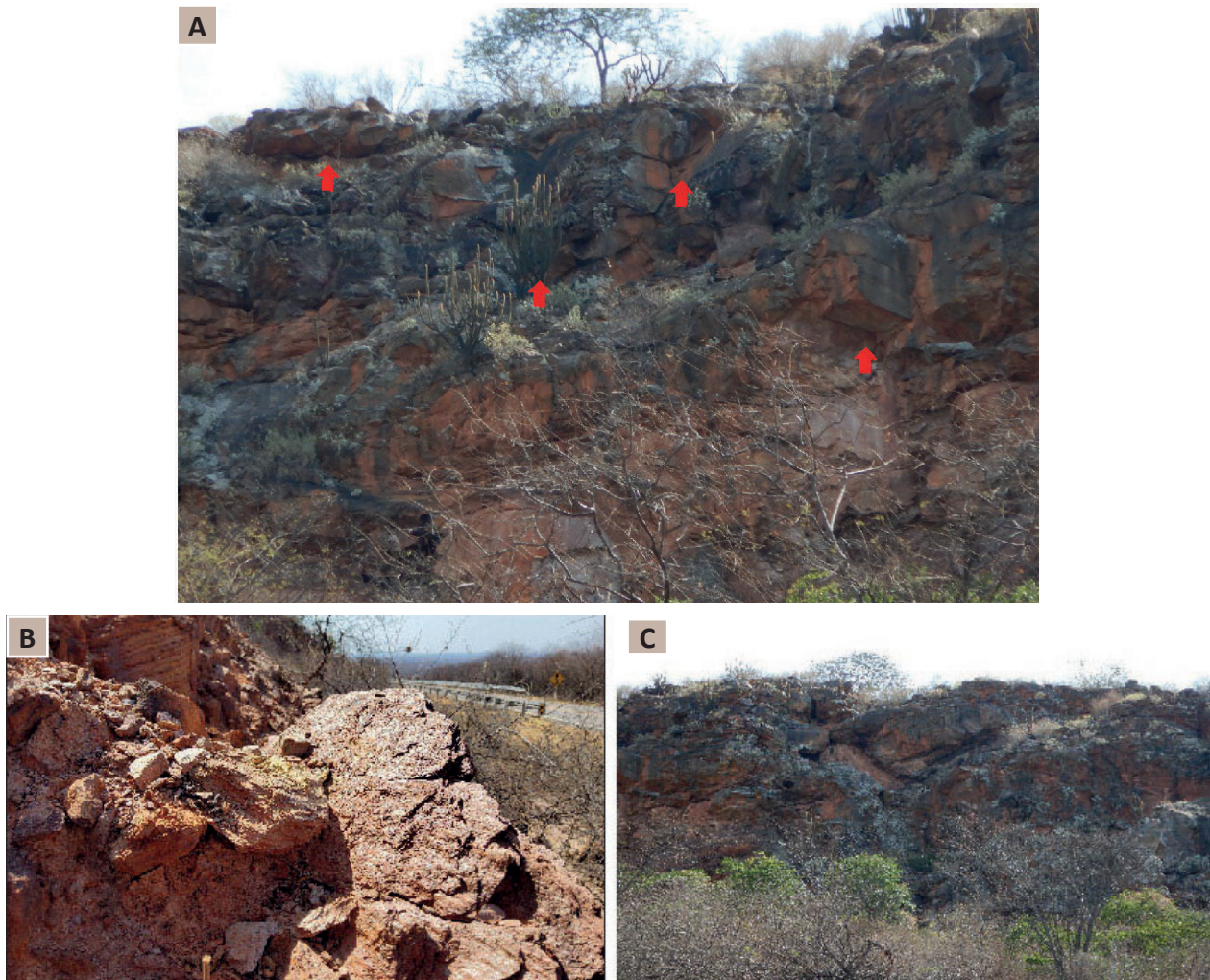


Figura 44 - Encosta com blocos de arenito conglomerático fraturados, instáveis, com sinais de movimentação com blocos em balanço e cicatriz de queda recente (a); xisto do embasamento bastante tectonizado com blocos apresentando sinais de movimentação (b); topo da encosta com blocos movimentados e estabilizados (c). Figura: Autores (2023).

LIG de importância geológica e geo-estrutural por representar um local com evidências tectônicas da elevação da borda da bacia relacionado a abertura do Atlântico Sul (ver figura 43). Sinais de movimentos de massa, como tombamento de blocos e outros em estado de instabilidade e probabilidade elevada de tombamentos seguido de rolamentos (ver figuras 43 e 44). Feições cársticas em rochas silicásticas fazem parte da paisagem, com uma torre cortada por fratura (ver figura 43b), constituindo risco de tombamento com risco de grau elevado para atingimento e danos graves aos visitantes.

7.3.9. Toca do Fundo do Baixão da Pedra Furada

O LIG está posicionado na área da *cuesta* a uma altitude de 440m com cerca de 30m de comprimento e 14m de largura, voltado para SW e orientado na direção NE-SW e identificado pelas coordenadas UTM 768583/9024075. Toda a encosta expõe predominantemente arenito de textura média a fina, claro, com níveis de siltito e conglomerado compondo a parte superior da encosta. Um primeiro olhar da vista de frente do abrigo tem-se uma noção da forte ação e influência da tectônica e erosão cárstica no controle do modelado da paisagem. Número elevado de diáclases de diferentes direções

e inclinações, desde verticais ou estabelecendo diferentes ângulos com os estratos das rochas sedimentares expostas (Figura 45).

O paredão rochoso que forma este local de interesse geológico apresenta marcas de antigas cachoeiras e direção de correntes SE-NW. Segundo dados obtidos a partir de escavações no local, o abrigo posicionava-se às margens de um riacho na pré-história, demonstrado pelas kamenitzas ou marmitas formadas na rocha e que os homens pré-históricos acendiam fogueiras nas margens desse riacho, fato este comprovado pelas fogueiras encontradas nas escavações (Figura 46).

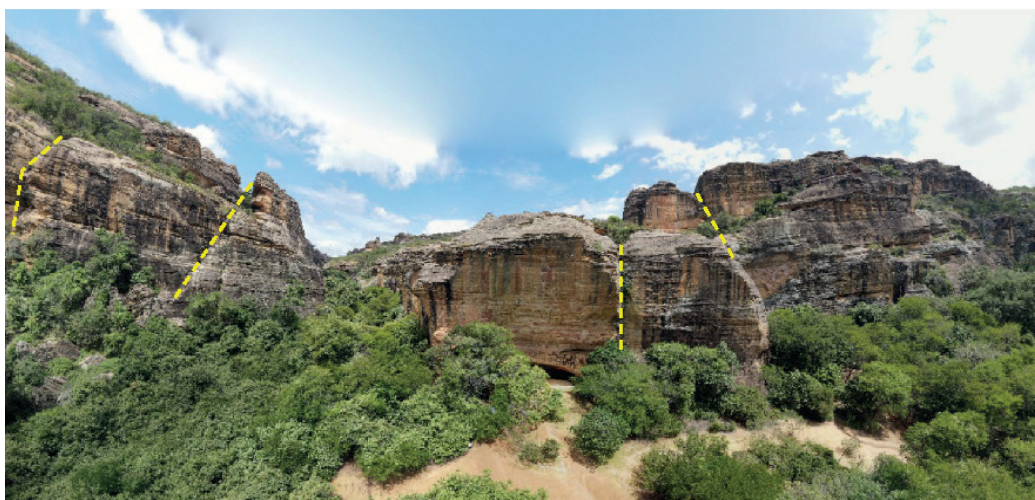


Figura 45 - Vista frontal da entrada da Toca do Fundo do Baixão da Pedra Furada, com sinais do efetivo controle tectônico (linhas tracejadas em amarelo) na paisagem cárstica. Foto: Autores (2023).



Figura 46 - Local de interesse geológico localizado às margens de uma linha de água como demonstra essas kamenitzas ou panelões, marcas evidentes dos efeitos erosivos de circulação de água com forte movimento turbilhonar. Foto: Autores (2023).

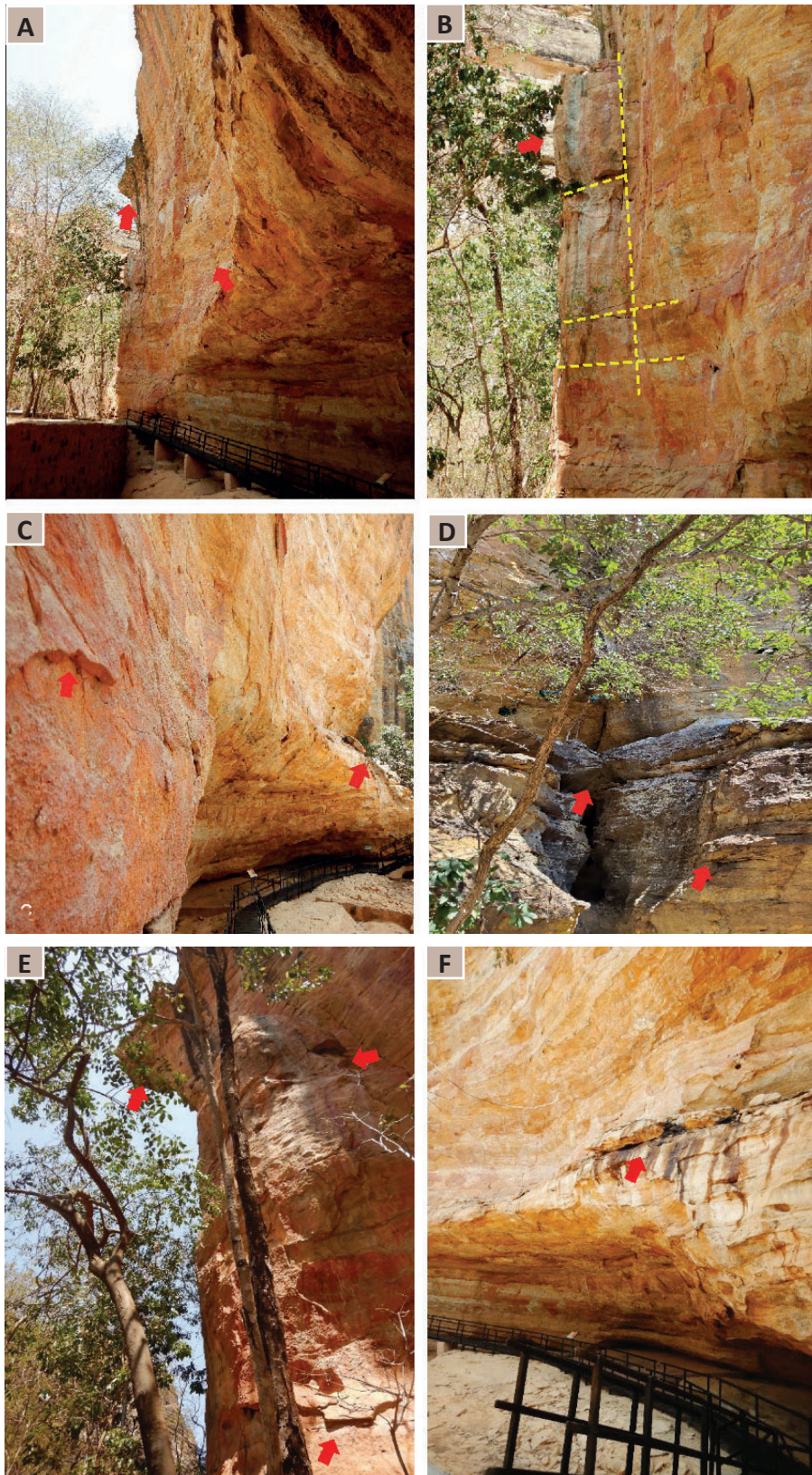


Figura 47 - Arenitos e conglomerados da Formação Ipu com morfologia típica do Boqueirão da Pedra Furada, com pontos em situação de risco: grandes superfícies de deslocamento (a), blocos individualizados e instáveis em situação de queda e deslizamento (b, c, d, e, f), caídos e rolados ao longo de diáclases abertas e estratos em balanço (c, d, e, f). Foto: Arquivo dos autores, 2022.

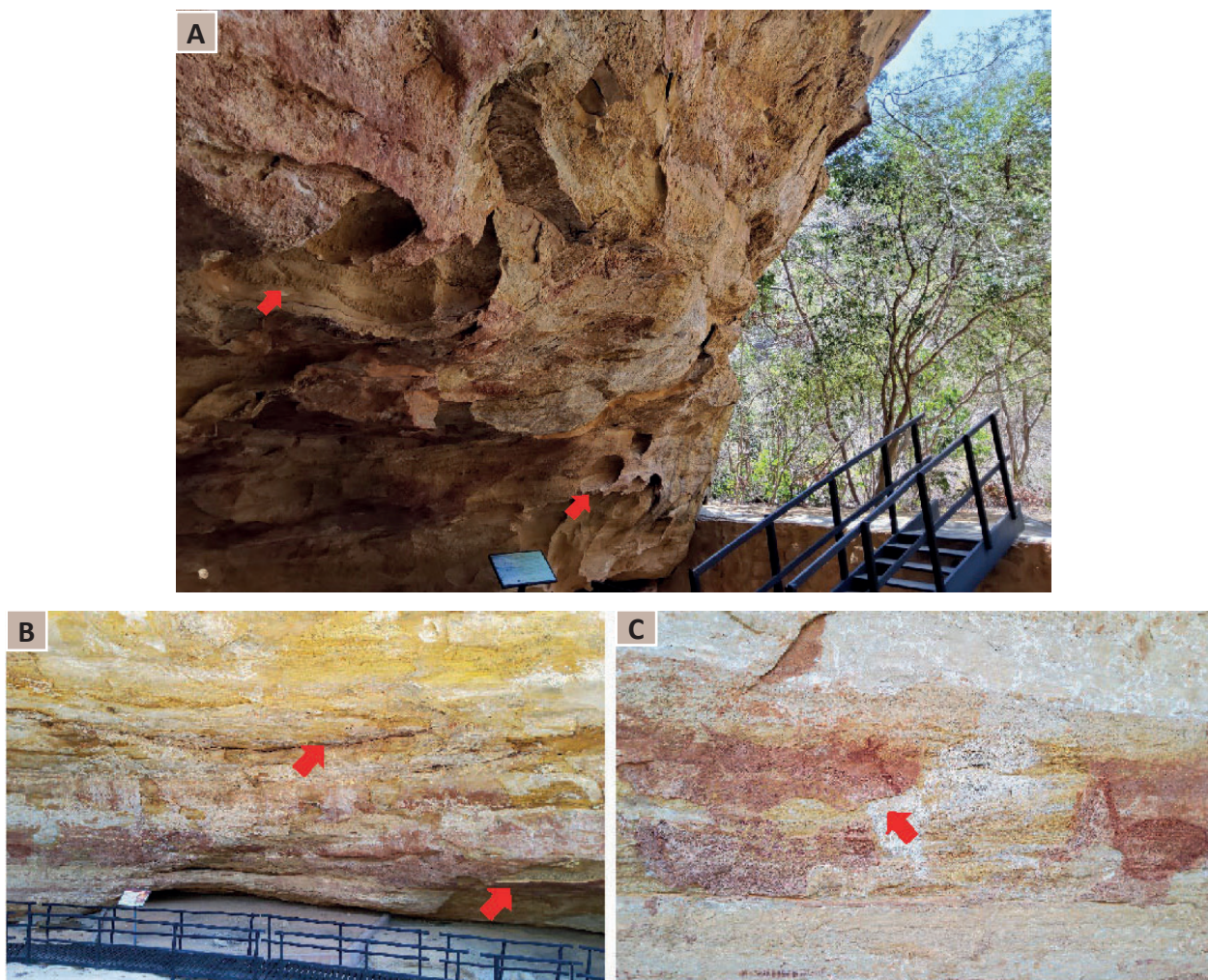


Figura 48 - Feições indicativas de processos erosivos responsáveis pelos movimentos de massa a partir da instabilização de blocos e placas que precisam ser monitorados para evitar riscos de atingimento aos visitantes: alveolização e formação de nichos erosivos (a), eflorescência de sais e deslocamentos (b, c).

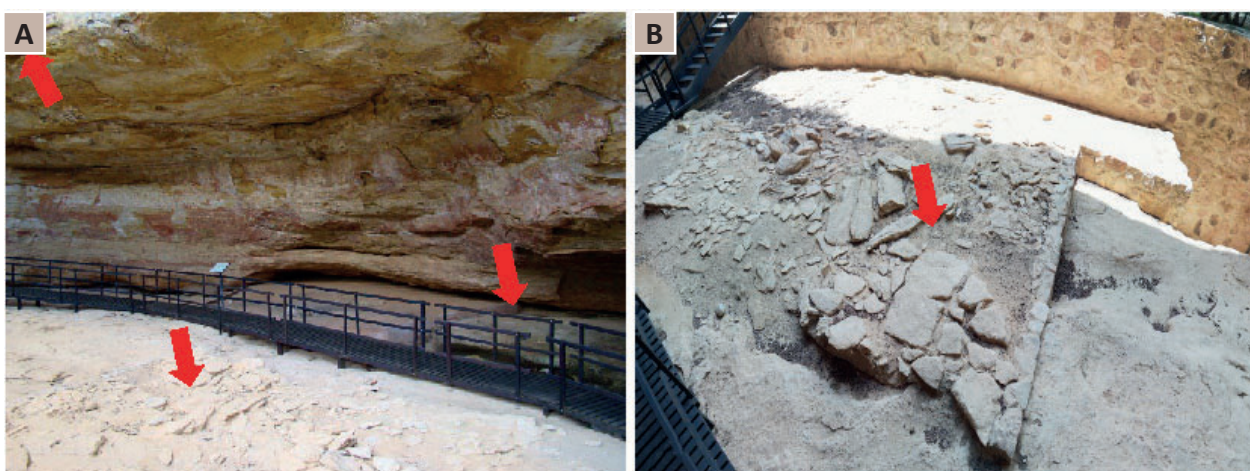


Figura 49 - Blocos e placas caídas na base do abrigo como indicativo da forte instabilidade do paredão rochoso submetido a forte ação dos agentes externos com risco de atingimento.

Foto: Autores (2023).

Presença de um número considerável de diáclases e blocos que se desprenderam do maciço rochoso, com sinais de instabilizações atuais em outros, e com algumas cicatrizes perfeitamente observadas e marcadas no paredão íngreme (Figura 47). Possível de observação também são alguns blocos em balanço.

O LIG apresenta-se em elevado grau de degradação física e química e fragmentação da parede rochosa o que responde pelo número elevado de blocos e placas desprendidas ali encontrados. Muitos nichos erosivos e alvéolos, resultado da forte ação da erosão hídrica e permeabilidade do maciço rochoso, permeabilidade esta que responde também pelas eflorescências de sais na forma de machas brancas um agente que contribui de maneira efetiva para o deslocamento localizado observado na parte externa dos paredões rochosos. Em alguns pontos do abrigo esse processo para além de mascarar as pinturas pode destruí-las com o subsequente deslocamento localizado. A ação conjunta destes processos erosivos chega, de modo pontual, a mascarar as estruturas de deposição e estratificação das litologias ali expostas (Figura 48).

Na parte externa do abrigo, em frente ao ponto onde foi encontrada uma fogueira sobre base rochosa, tem-se uma espécie de calçada formada a partir dos blocos que caíram do teto do abrigo, um forte sinal da instabilidade do maciço rochoso diante dos agentes erosivos e dos eventos facilitadores para que estes exerçam o seu poder desagregador e estabilizador de blocos. Esses blocos e placas desprendidos das paredes rochosas e que se encontram no solo, estão localmente cobertos por material arenoso fino que cai dos paredões, como efeito da erosão eólica. A eflorescência salina ocorre como um fator facilitador dos deslocamento e movimentação do material rochoso (Figura 49).

Presença de um número considerável de fraturas e blocos que se desprenderam do maciço rochoso, com sinais de instabilizações atuais em outros, e com algumas cicatrizes perfeitamente observadas e marcadas no paredão íngreme respondem por um risco elevado de possível atingimento aos visitantes e que sucita monitoramento principalmente em momentos antes e pós fortes precipitações.

7.3.10. Toca da Pedra Caída/Invenção

Paredão íngreme ao longo do qual estão expostos arenito fino da Formação Ipu, com estratificação planoparalela, localmente cruzada de pequeno porte. Segue-se-lhes camadas de arenito mais grosso com intercalações de finos, geralmente siltitos e folhelhos.

A Toca da Pedra Caída/Invenção, identificada pelas coordenadas UTM 767751/9020787, apresenta na sua parede frontal o sinais do forte diaclasamento e subsequente alargamento dessas estruturas pela erosão hídrica que aproveita-se desses pontos de fragilidade para penetrar no maciço rochoso fragilizando-o e instabilizando-o com individualização de blocos que ficam assim sujeitos a quedas e tombamentos (Figura 50).

Um grande bloco que se desprende da borda da serra por causas tectônicas ou simplesmente pela própria fragilidade da rocha, marca bem este local de interesse geológico. Processos erosivos encontram facilidade de instalação nas zonas de contato entre siltitos e folhelhos, gerando instabilidade local de blocos que são assim fragmentados e desagregados com forte tendência a quedas (Figura 51).

Este abrigo sob rocha está voltado para SW e orientado segundo direção SW-NE onde está exposto o substrato arenítico com textura de média a fina, marcas de ondas e finas camadas de siltito. No geral, o paredão rochoso ocorre sob forte influência de fraturas com deslocamento de rocha, sinais de infiltração e eflorescência de sais minerais. Todo o paredão frontal está submetido à ação da água e do vento no processo erosivo, na forma de um grande *carste* onde as diáclases facilitam o processo de infiltração das águas pluviais que erodem e percorrem internamente o maciço rochoso tornando-o



Figura 50 - Vista frontal do front da serra no LIG da Toca da Pedra Caída/ Invenção, evidenciando o forte controle tectônico e ação da erosão hídrica no modelado da passagem local. Foto: Autores (2023).

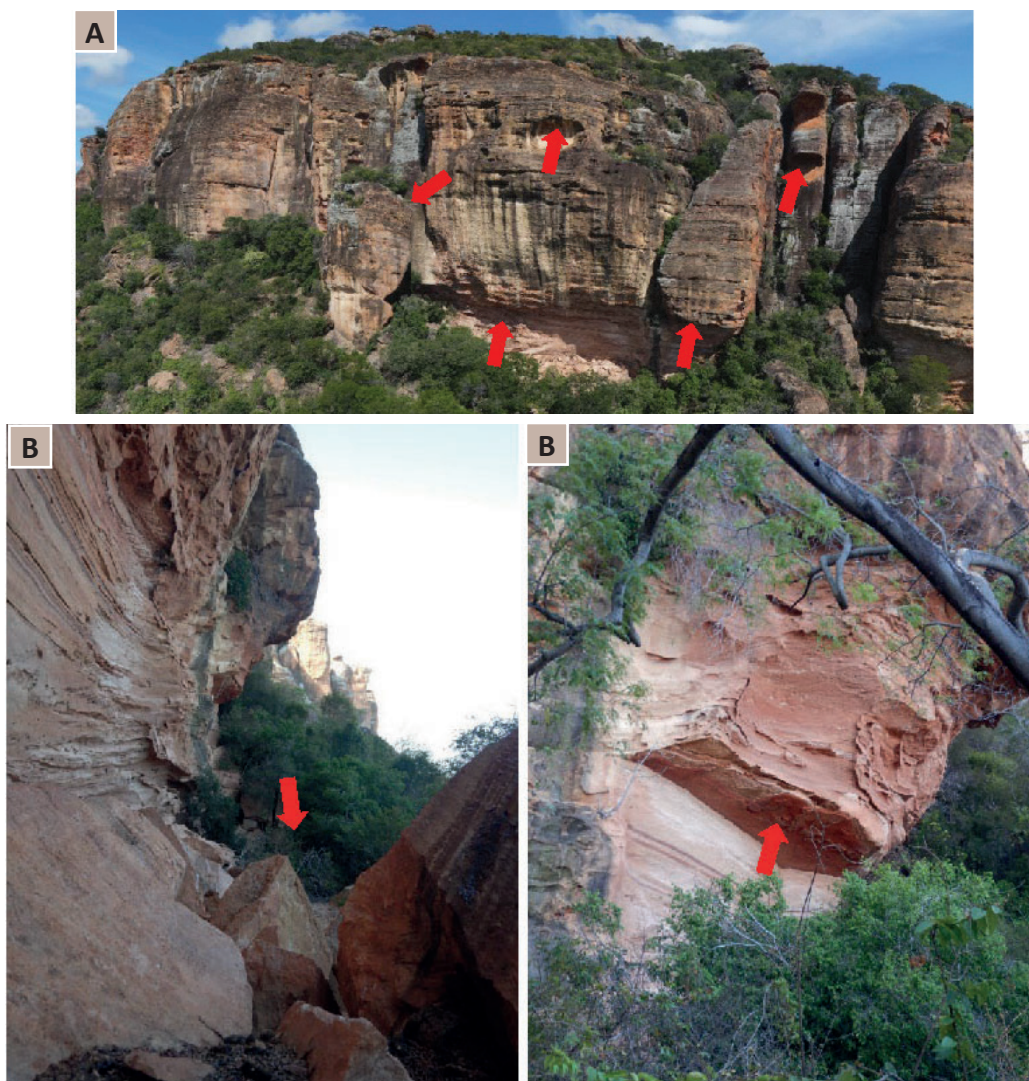


Figura 51 - Arenito com estratificação horizontal e cruzada de grande porte num front escarpado da *cuesta* voltada para a superfície aplainada e setas indicativas de grande bloco que se desprendeu da borda da serra (a); presença de muitos blocos instáveis (a) e caídos (b), cicatrizes e blocos em balanço (a, b e c). Foto: Autores (2023).

frágil e instável com individualização de blocos com forte tendência à queda ou tombamento. Em alguns pontos as fraturas vão desde o nível do terreno até o topo da encosta (Figura 52).

A Toca da Pedra Caída/Invenção é um dos locais de interesse geológico onde mais forte e bem evidente se nota a ação e controle tectônico sobre as encostas e suas associações mais direta com os processos erosivos que, juntos, respondem pelas formas do modelado do relevo cárstico na região do PNSC. E, com isso, os riscos geológicos aqui são muitos e com um forte componente de possibilidade de atingimento o que demanda monitoramento dos agentes deflagradores ou potencializadores destes

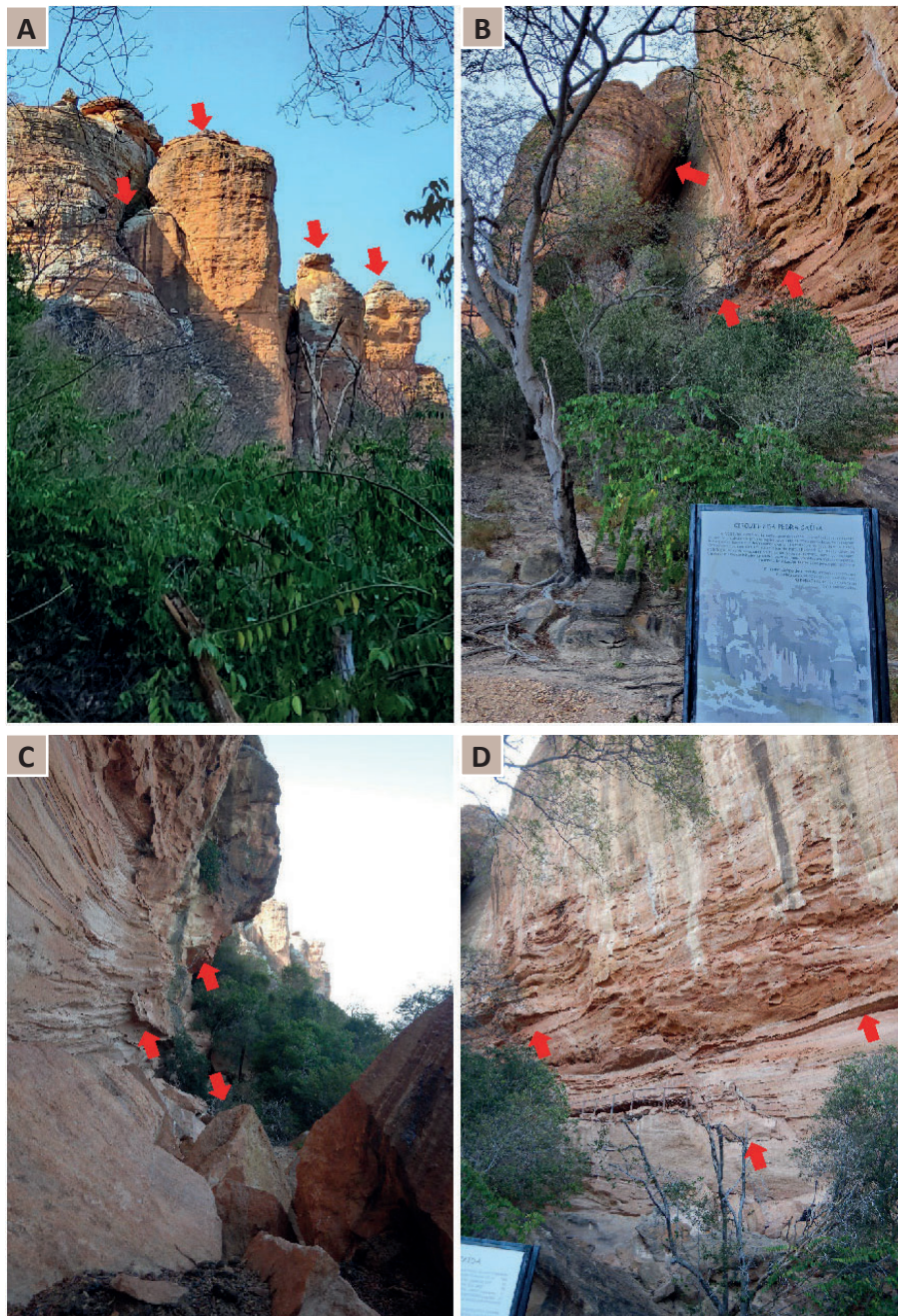


Figura 52 - Vista da parte externa onde se pode ver toda a fragilidade, risco potencial de movimentos de massa (queda, tombamento e deslizamento de blocos) (a, b, c, d), cicatrizes recentes de queda de bloco (b, c, d), blocos em balanço e outros em situação eminente de movimento no topo e nas partes intermédias da encosta (b, c). Foto: Autores (2023).



Figura 53 - Situações de forte controle tectônico e de erosão hídrica na borda da serra: descontinuidade (seta amarela traço ponto) individualizando e instabilizando bloco com risco de queda (a); bloco que se desprende do maciço em posição atual de risco e sinal de cicatriz de queda de bloco (b); grandes blocos na forma de torres em situação de instabilidade para tombamento (c). Foto Autores (2023).



Figura 54 - Encosta com escoamento de água pluvial pela porção frontal da encosta, com formação de nichos (a) e presença de diáclase (b), cicatriz de queda de bloco e muitos blocos caídos e em situação de risco por tombamento eminente (b, d); formação de crosta e subsequente deslocamento (d); arenito friável sob forte ação da erosão em processo de arenização (c). Foto: Autores (2023).

riscos, no caso temperatura e precipitações elevadas (Figuras 53 e 54). A recomendação, como na maioria dos LIGs estudados, é a de uma atenção maior no monitoramento destes locais em períodos pré e pós precipitações elevadas e com fortes trovoadas e raios.

Encosta íngreme com muitas situações de risco geradas a partir da ação conjunta de diferentes processos de instabilização de encosta, de forma bem característica, encontradas em todo o maciço rochoso, englobando parte externa e interna com possibilidade alta de atingimento dos visitantes. A instabilidade de blocos é verificada desde o topo à parte mais baixa próxima do solo caracterizando este local de interesse geológico como de alto grau de risco para deslocamento, tombamento e queda de blocos. Monitoramento em período pré e pós eventos chuvosos é muito importante para evitar danos a visitantes.

7.3.11. Toca de Cima dos Pilão

A Toca de Cima dos Pilão corresponde a um afloramento calcário posicionado próximo ao *front de cuesta*, na localidade do Mocó, município de Coronel José Dias, PI, com formas típicas de um carste em rochas carbonáticas. A caverna ou gruta, identificada pelas coordenadas UTM 768732/9019292, compreende dois compartimentos situados em níveis topográficos diferentes com presença de estalactites na forma de cortinas e estalagmites (Figura ...). Representa um maciço de metacalcário calcítico, microcristalino, cinza-escuro da Formação Barra Bonita do Grupo Casa Nova. Galerias,

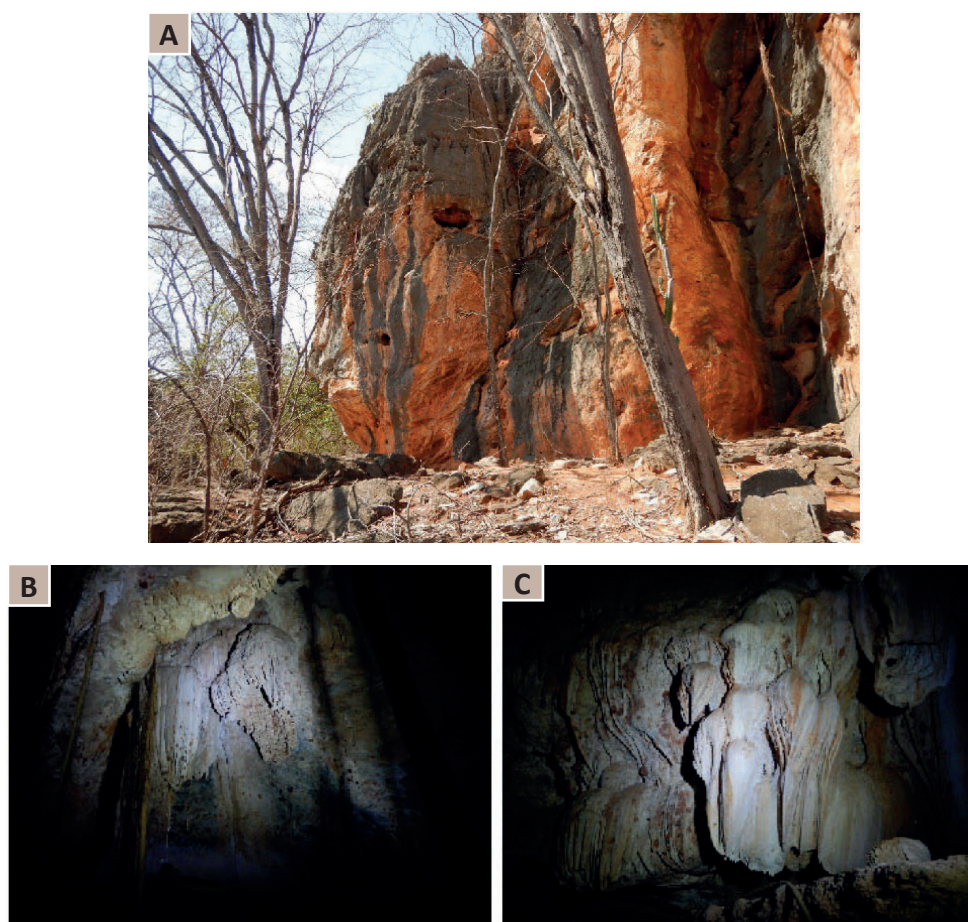


Figura 55 - Vista da parte externa (a) e interna da caverna com belíssimas estalactites na forma de cortinas coloridas (b, c).
Foto: Autores (2023).

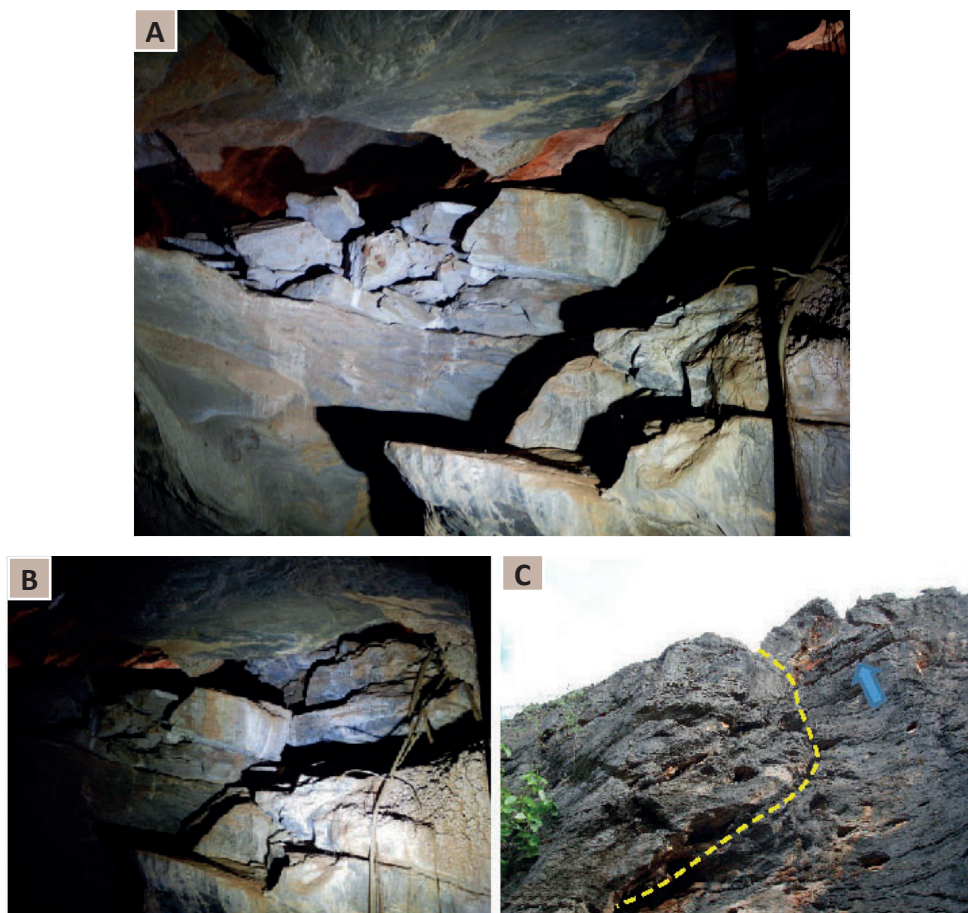


Figura 56 - Maciço de metacalcário (Formação Barra Bonita) com relevo cárstico (c) e caverna (b, c) onde foram encontrados dentes caninos do tigre-dente-de-sabre. Presença de belas cortinas de estalactites e blocos caídos e mobilizados (a, b) no interior e exterior da caverna, com presença de diáclases (linha tracejada em amarelo, c). Foto: Autores (2023).

salões, estalactites e estalagmites e cortinas coloridas distribuem-se pelo espaço interno da caverna, na verdade um sumidouro, de até 80 m de profundidade (Figura 55).

Estas feições de serrotes ou morrotes constituem carstes residuais com um número considerável de cavidades como local de interesse geológico, arqueológico e paleontológico fortemente fraturados (Rodet, 1997). O local de interesse geológico é constituído de duas grutas situadas em níveis diferentes, onde foram encontrados restos de fogueiras e peças líticas, cerca de 800 restos pertencentes a mamíferos da megafauna com destaque para o *Smilodon populator* (tigre-de-dentes-de-sabre) e a *Panthera onca* (onça), material este que pode indicar que essa toca foi um esconderijo para os grandes carnívoros (Pessis, 2003).

Internamente foi observado sinais de desmoronamento e o maciço calcário apresenta muitas fraturas que individualizam blocos já bastante instáveis e com forte tendência à movimentação. O local está interdito à visitação pública por conta dessa instabilidade interna com elevado risco de desabamento (Figura 56).

O maciço rochoso apresenta-se fortemente afetado pela erosão hídrica e pela tectônica, com formação de cavernas, por tratar-se de um sumidouro, com estalactites na forma de cortinas e blocos movimentados interna e externamente em posição de instabilidade e movimento. O risco advém exatamente destes blocos que podem cair do topo ou das paredes internas. Como já mencionado, o local está interdito para visitação.

7.3.12. Toca do Caboclinho

A Toca do Caboclinho, identificada pelas coordenadas UTM 750069/9040855, expõe litologias representativas da Formação Cabeças, do Grupo Canindé da Província Parnaíba, com arenitos finos, porosos e a presença de estruturas poligonais características desta Formação e de canais fluviais com formação de sigmoides e outras estruturas originadas a partir de processos de liquefação de camadas devido ao peso dos sedimentos e deslizamento lateral de camadas. Estratificação cruzada planar e acanalada de grande porte estão expostas na encosta com relevo negativo. São muitas as evidências estruturais que geram instabilidade de blocos, algumas com sinais de quedas mais recentes para além de deslocamentos, diáclases abertas, blocos em balanço e outros tantos instáveis (Figura 57).

A Toca do Caboclinho apresenta sinais de um evidente e forte controle tectônico, com sistemas de diáclases posicionadas em diferentes direções individualizando e instabilizando blocos movimentados de formas diversas predominantemente como quedas, tombamentos, rolamentos. Por toda a área de extensão do LIG, quer externa, quer internamente, são muitas as evidências destes movimentos de massa através de blocos posicionados ao nível do solo ou na porção média da encosta e com dimensões as mais variadas possíveis mas eminentemente de tamanhos métricos. O relevo negativo

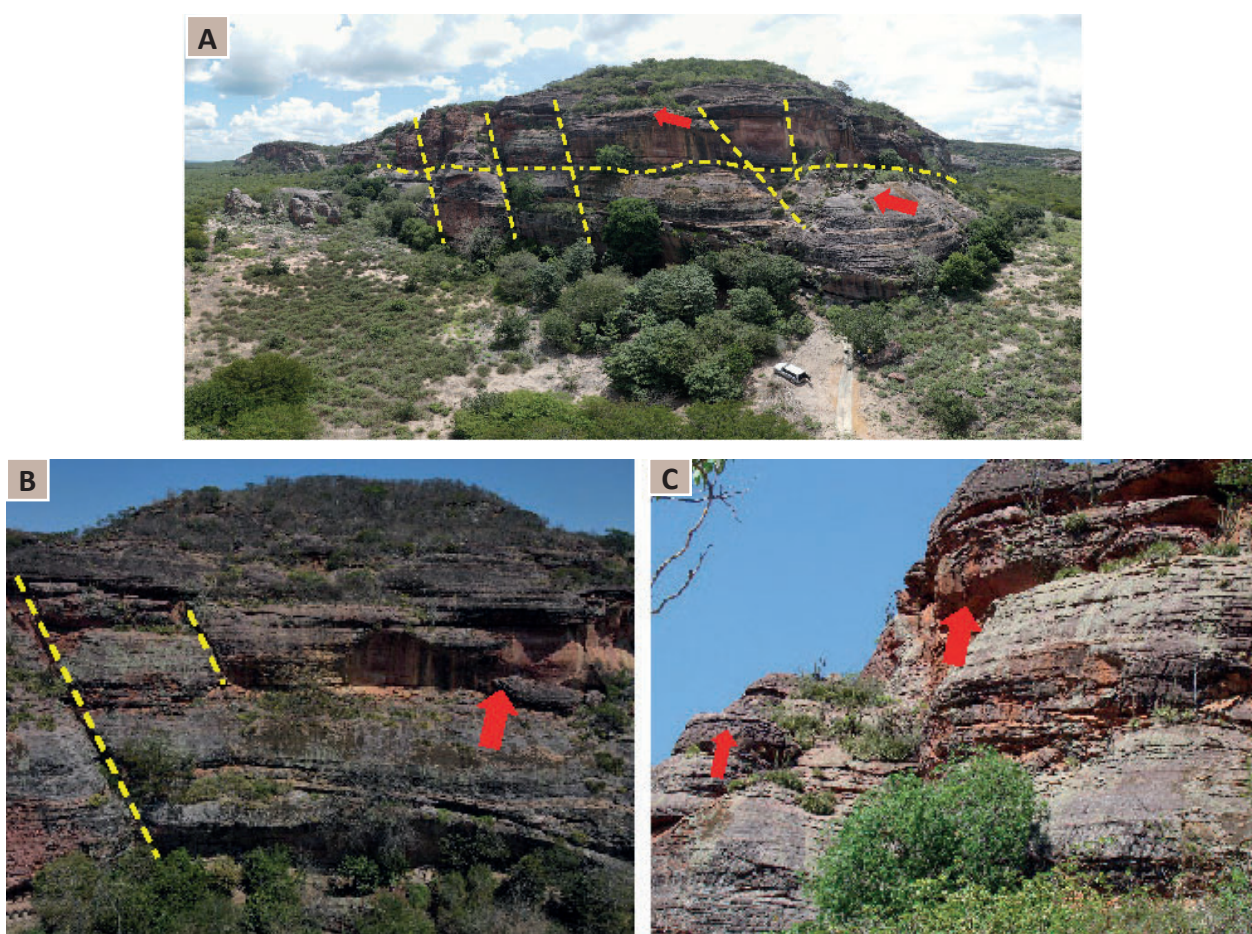


Figura 57 - Vista do *front* da serra com exposição dos arenitos da Formação Cabeças depositados em canais fluviais, com estratificação cruzada planar e acanalada (c), fortemente tectonizados (a, b) com blocos movimentados e em situação de risco elevado para tombamento e deslizamento (a, b e c), e presença de alvéolos e lapiás como feições cársticas (a, c). Foto: Autores (2023).

é um fator potencializador para estes tipos de movimentos de massa para o que contribui, ademais, as diáclases como meio facilitador da ação das águas pluviais alargando-as e tendo o acesso ao interior do maciço de forma mais rápida e eficiente. Diante de tais características, o local oferece risco aos visitantes nomeadamente em períodos pré e pós chuvas torrenciais com fortes trovejadas e relâmpagos (Figura 58).

Feições típicas de relevo ruíniforme relacionadas a carste em rochas siliclásticas estão fortemente associadas às litologias mais arenosas da Formação Cabeças como os lapiás em planos de acamamento, ou seja, lapiás horizontais, desenvolvidos a partir de processos de dissolução preferencial nesses planos de acamamento horizontais ou sub-horizontais do pacote rochoso. Para além dos lapiás, tem-se uma forte presença de dutos com seção transversal predominantemente arredondados e bem marcados na superfície dos paredões evidenciando a ação da água ao longo do processo de sua formação. Em trabalhos publicados sobre arenitos quartzosos da Austrália, Wray (2009) defende, para esses dutos, uma

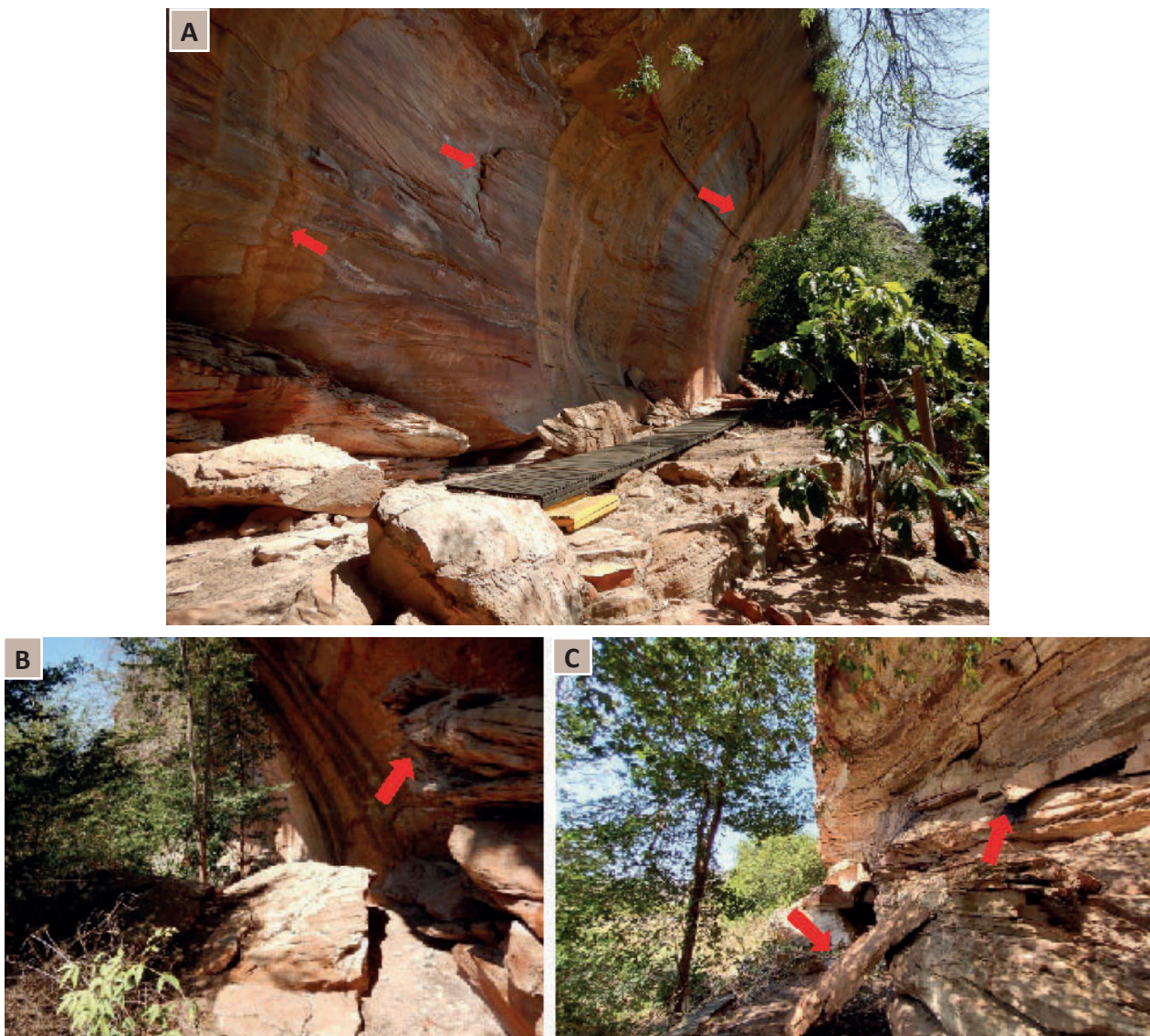


Figura 58 - Vista do interior do abrigo em relevo negativo com muitos blocos caídos a nível do solo (a, b, c) e outros tantos instabilizados em ponto de deslizarem (b, c); outros mais se encontram em posição de tombamento (a, c) e deslocamento localizado (a). Foto: Autores (2023).

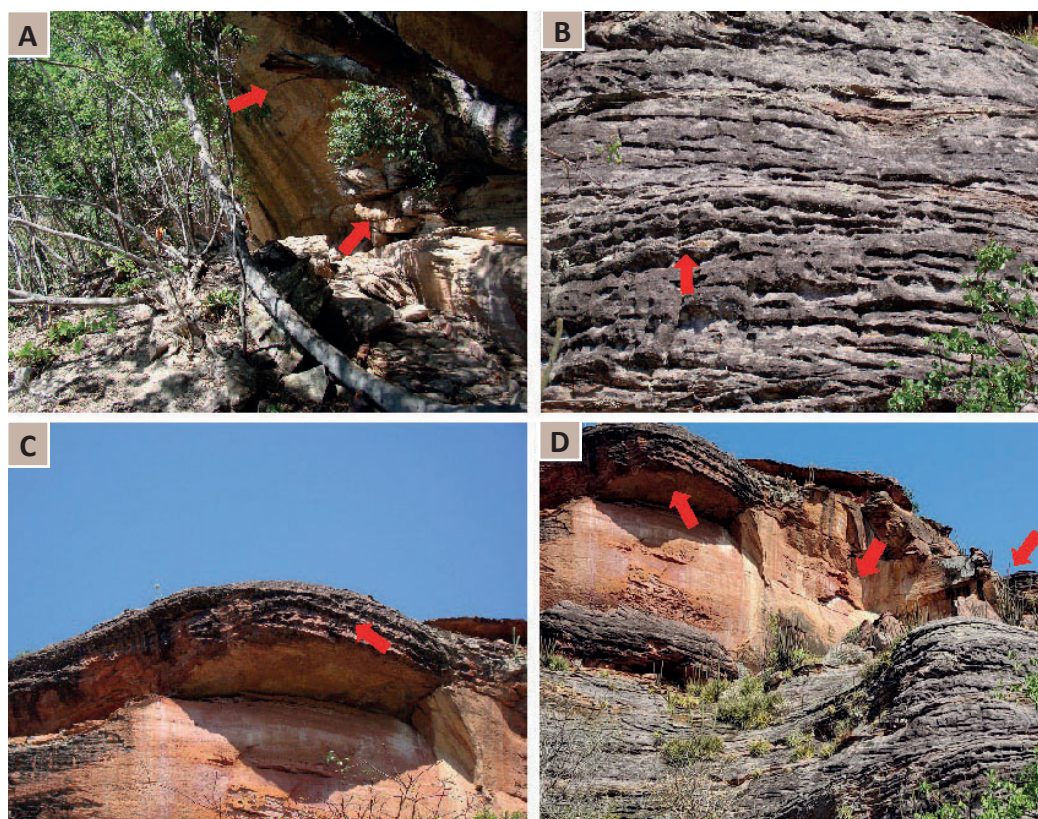


Figura 59 - Relações entre altura, inclinação, descontinuidades (a), feições cársticas (b, c, d) e perigo para movimentos de massa (c,d).

organização segundo um sistema de redes complexas de drenagem subterrânea muito semelhante ao encontrado em rochas carbonáticas. Para o caso específico do modelado ruiforme do relevo encontrado no PNSC e das diferentes feições cársticas encontradas nas superfícies externas dos diferentes paredões rochosos que formam os LIGs estudados neste trabalho, este é um dado importante e que de certa forma ajuda a entender as instabilidades e individualizações de partes dos acamamentos que se encontram em posição de movimentação podendo constituir risco potencial de atingimento quando da visita pública a esses locais. Estas mesmas observações são válidas para a presença de alvéolos e lapiás observados e significativamente instalados em muitos destes paredões (Figura 59).

Aqui, como em muitos outros locais de interesse geológico, fatores como altura, inclinação da encosta e a presença de descontinuidades, estas configuradas por um intenso grau de fraturamento no maciço, respondem pelas fortes evidências de situações de elevado perigo para movimentos de massa, nomeadamente para as quedas de blocos. Em maciços submetidos à ação destes fatores as recomendações são sempre aquelas voltadas para o monitoramento e vistorias quando da ocorrência de fenômenos naturais que estão por trás das causas de degradação e comprometimento da estabilidade dos mesmos, em momentos pré e pós evento, afim de se evitar o perigo de atingimento aos visitantes.

7.3.13. Toca do Paraguaio

O Local de interesse geológico Toca do Paraguaio é um abrigo sob rocha posicionado a cerca de 10m do fundo do vale ocupando a frente de *cuesta* em área onde ocorrem alguns vales estreitos ou boqueirões e identificado pelas coordenadas UTM 776151/9028046. O próprio Boqueirão do

Paraguaio drena as águas provenientes da parte superior da chapada passando bem em frente a este local de interesse geológico (LIG).

O paredão é constituído por conglomerados e arenitos típicos da Formação Ipu, onde o arenito ocorre com estratificação horizontal e cruzada acanalada de baixo ângulo. A textura está compreendida entre a média e grosseira, com presença de clastos levemente imbricados, com blocos e matacões subarredondados de quartzo e quartzito de até 30cm depositados em ambientes residuais e turbulentos e imersos em matriz areno-caulínica média a grosseira (Figura 60).

A exposição da Formação Ipu neste local de interesse geológico ocorre com seus dois níveis bem característicos: o superior conglomerático e o inferior arenítico. Localizada no meio da vertente, na área de *cuesta*, a uma altitude de cerca de 450m, essa toca é um extenso abrigo com cerca de 58m de comprimento por 9m de largura com frente aberta para NE e orientação N-S. Ao longo do paredão nota-se a instalação de fraturas que individualizam blocos e os tornam instáveis. Processo de deslocamento acentuado com formação de nichos, carreamento de finos com subsequente individualização e instabilização desses níveis por ação da erosão hídrica com instalação de situações de risco por atingimento são detectados por todo o abrigo. Na figura seguinte estão indicadas situações de risco geológico como resposta a uma ação conjunta entre processos erosivos físicos e químicos com forte contribuição da tectônica regional (Figura 61).

A zona de contato entre arenito e siltito com o conglomerado grosseiro é bem demarcada por descontinuidade sob forte efeito da ação erosiva da água meteórica que individualiza e instabiliza grandes blocos rochosos que ficam sujeitos a movimentação oferecendo, em consequência, risco de atingimento aos visitantes. Essa mesma água ao escorrer sobre a parede da encosta vai lavando e carreando o material mais fino que serve de cimento para os seixos de dimensões decimétricas, uma outra forma de risco ao cair e atingir visitantes. No solo da base destes paredões a concentração destes seixos caídos é significativa como sinais desta movimentação do material rochoso (Figura 62).

Sinais bem evidentes de quedas de blocos podem ser encontrados ao deslocar-se por todo a extensão do abrigo, para além de deslocamento/esfoliação do arenito, quedas de seixos e escorregamento de blocos individualizados dos estratos de composição mais fina por ação da água que penetra nas descontinuidades alargando-as e gerando, com isso, pontos de risco de atingimento. Em alguns pontos, essas camadas intercaladas de arenito siltoso já desapareceram ficando o espaço vazio e descalçando as camadas superiores que por efeito da gravidade podem agora desprenderem-se do teto.

7.3.14. Toca da Entrada do Baixão da Vaca

A Toca do Baixão da Vaca ocupa a porção média a alta da vertente, na área de *cuesta* com altitude em torno de 430m e identificada pelas coordenadas UTM 776086/9028964. O abrigo sob rocha ocorre com cerca de 115m de comprimento e 10m de largura com frente voltada para E e orientado segundo direção N-S (Figura 63).

O acesso ao LIG da Toca da Entrada do Baixão da Vaca faz-se através de um cânion que expõe nas suas paredes laterais arenitos conglomeráticos e conglomerados da Formação Ipu apresentando mergulho suave para NW (10°/340°) sobrepostos, em discordância angular, pelos arenitos da Formação Itaim que estão dispostos em estratos horizontais. Os paredões íngremes que delimitam o cânion apresentam no seu topo grandes blocos instáveis, na grande maioria soltos, com risco elevado de quedas e tombamentos e perigo de atingimento aos visitantes. Há, inclusive, sinalizações avisando deste perigo (Figura 64).



Figura 60 - Alternância de arenitos e conglomerados (Formação Ipu) relacionados a um sistema fluvial de baixa sinuosidade: diáclases, descontinuidades abertas (c, d), blocos e seixos caídos ou em situação de queda (a, b), blocos em balanço, cicatrizes de quedas de blocos e deslocamentos (c, d). Foto: Autores (2022).



Figura 61 - Feições indicadoras de situações de risco geológico: diáclases, quedas de seixos e blocos, deslocamento e erosão diferencial. Fotos: Autores (2023).



Figura 62 - Vista geral do abrigo com exposição do arenito (a) e conglomerado grosseiro (b) da Formação Ipu com indicativos de quedas de blocos, deslocamento e desprendimento de seixos (a, b) configurando situações de risco. Foto: Autores (2023).



Figura 63 - Vista do abrigo na meia encosta arenítica e cânion do Baixão da Vaca. Foto: Autores (2023).



Figura 64 - Vista dos paredões laterais que delimitam o cânion de acesso à Toca do Baixão da Vaca, com destaque para os riscos de quedas de blocos. Foto: Autores (2023).

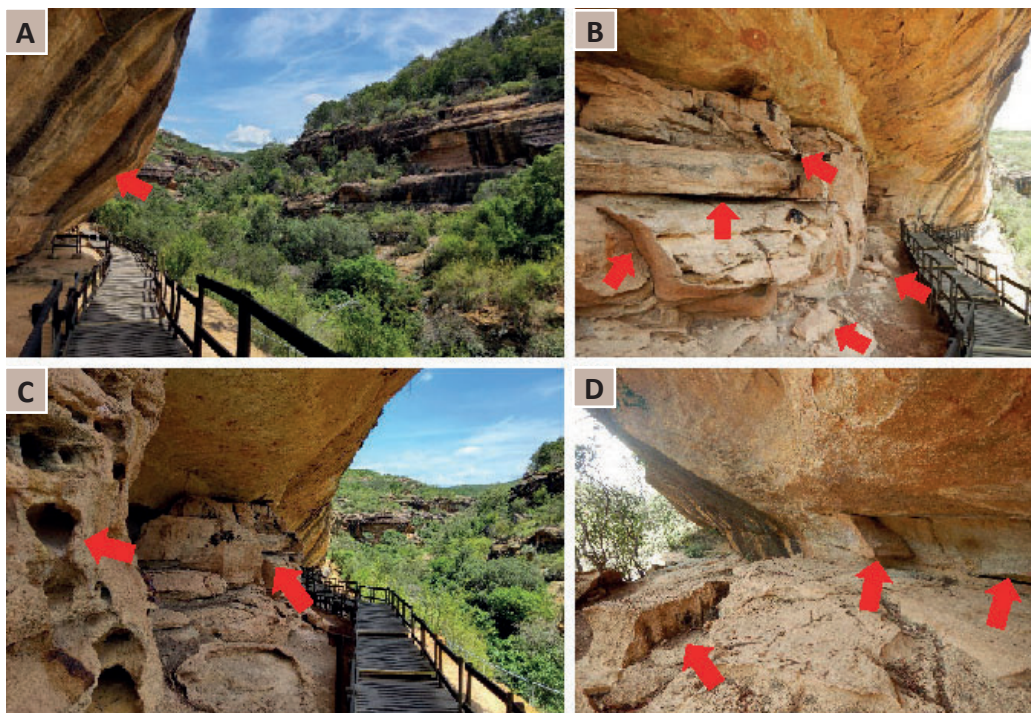


Figura 65 - Vista dos paredões íngremes da Toca da Entrada da Vaca, com evidentes situações de perigo: ação das águas pluviais (a, d), diáclases (b, c, d), blocos instáveis e caídos (b, c, d) e erosão diferencial ao longo das discontinuidades (b, c, d). Foto: Autores (2023).

A rocha arenítica exposta ocorre com uma textura fina, argiloso, de cor clara e com intercalações de siltitos. Na porção mais a sul do abrigo aflora o arenito conglomerático. Presença de eflorescência de sais próximo às fissuras com escoamento de água indicativa de percolação e fragilidade no

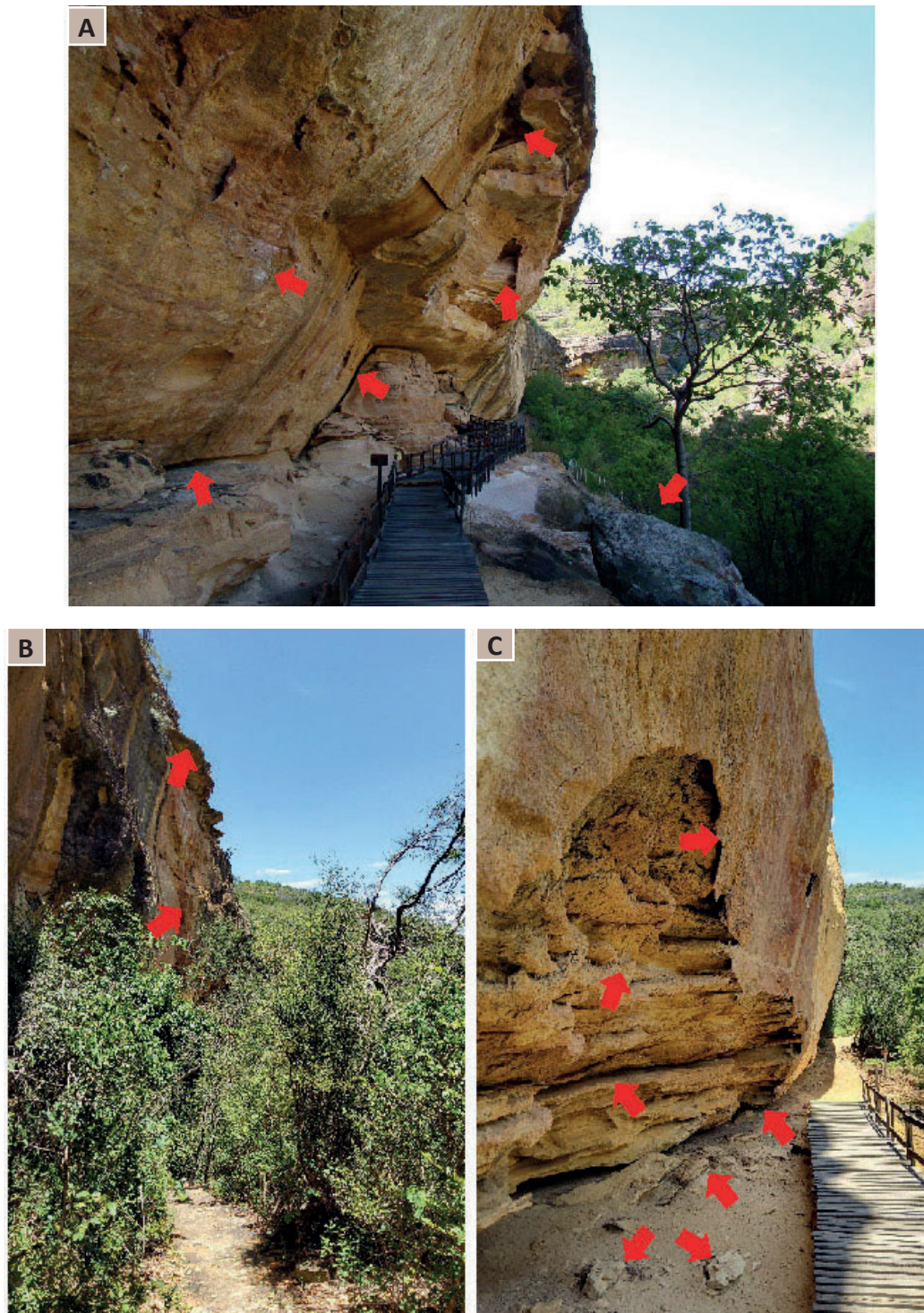


Figura 66 - Erosão diferencial (a) e eólica (b) como processos de instabilização de encosta, movimentação de massa e evolução do relevo com geração de riscos a visitantes (a, b, c). Foto: Autores (2023).

maciço. Paredão significativamente fraturado, com blocos individualizados e muitos outros caídos e em balanço, indicativos de instabilidade e movimentação de blocos por todo o abrigo (Figura 65).

A ação da água meteórica ao infiltrar-se na rocha porosa aproveitando o caminho das diáclases para depois surgir na parte externa da encosta carreando o material mais fino nas discontinuidades entre

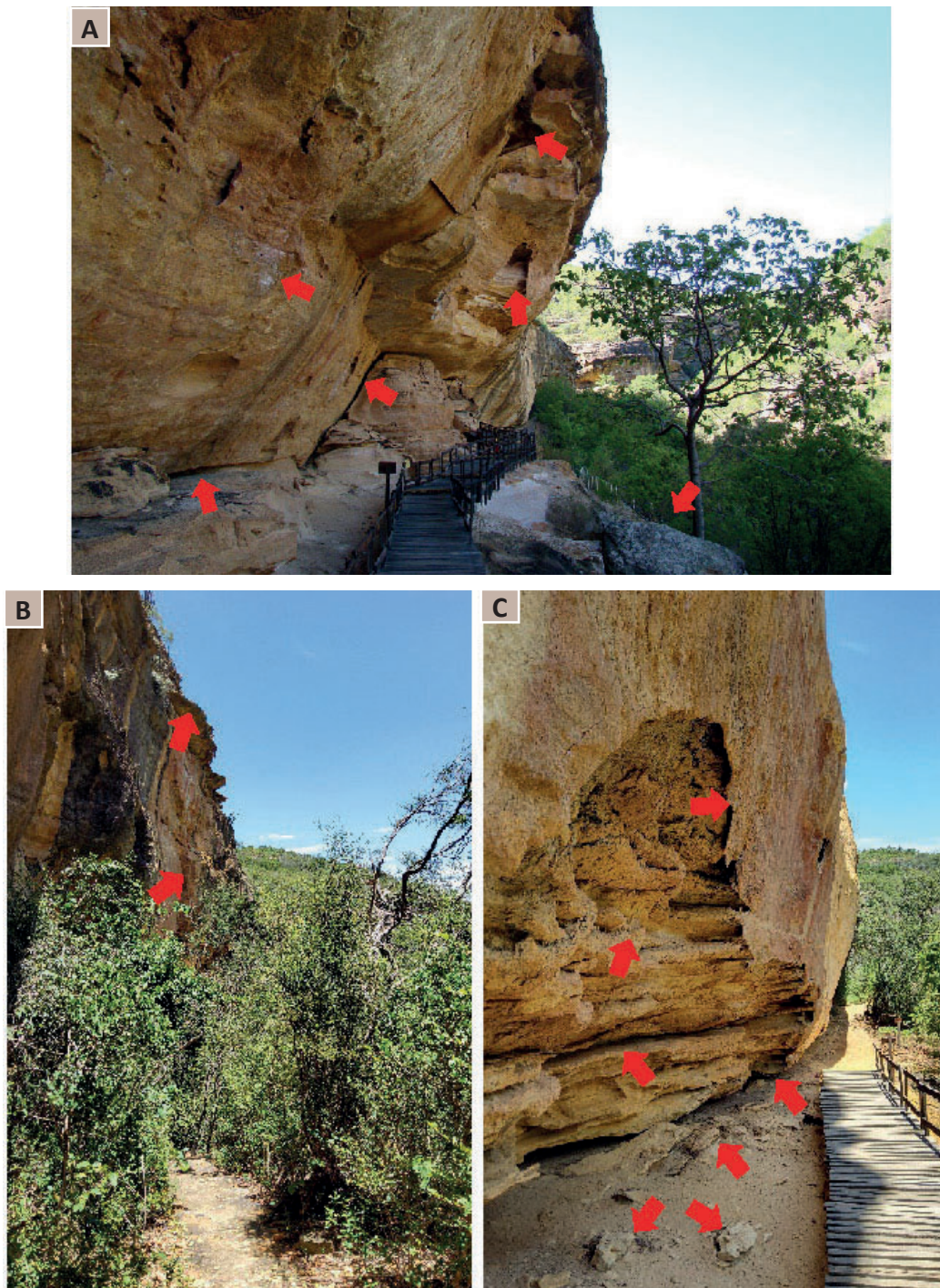


Figura 66 - Erosão diferencial (a) e eólica (b) como processos de instabilização de encosta, movimentação de massa e evolução do relevo com geração de riscos a visitantes (a, b, c). Foto: Autores (2023).

os siltito e arenitos e/ou aqui também criando condições para formação de uma crosta e nichos que após queda vai facilitar a instalação da erosão eólica com processo de arenização onde a rocha tem textura mais fina ocorre de modo característico e forte neste abrigo. O desprendimento de blocos por ação da erosão diferencial está presente em quase todos os locais onde os siltitos estão intercalados nas rochas areníticas. Nesses casos a erosão instabiliza e/ou individualiza blocos que vão colapsar com perigo de atingimento (Figura 66).



Figura 67 --Vista de cima da área do local de interesse geológico e entorno (a), com destaque para a feição ruiforme (a, b, c, d), ação da tectônica e clima (a, b, c, d) no modelado da paisagem desde épocas pretéritas aos dias atuais. Foto: Autores (2023).

7.3.15. Toca dos Coqueiros

Este abrigo sob rocha identificado pelas coordenadas UTM 768072/9022095, tem uma das menores dimensões daqueles encontrados na região do Parque, com cerca de 30m de comprimento por 2,70m de largura, está situado no vale do Baixão das Mulheres no PNSC correspondendo a um paredão rochoso com inclinação muito baixa, quase verticalizado e sob ação intensa dos raios solares que o



Figura 68 - Esqueleto humano encontrado durante escavações na Toca dos Coqueiros. Fonte: Buco (2011).

atingem durante quase todo o dia. Esta posição responde pela presença significativa de processos de deslocamento de grandes dimensões em uma ação conjunta entre tectônica, temperatura e umidade (Figura 67).

Neste LIG foi encontrado um esqueleto humano, atualmente em exposição no Museu do Homem Americano, junto ao qual estavam duas pontas de flechas de um tipo nunca antes encontrada no nordeste do Brasil e que estavam posicionadas na frente das pernas. Outro dado importante refere-se ao modo como ocorreu o sepultamento deste indivíduo, encontrado com o corpo deitado sobre pedras e várias fogueiras acesas ao seu redor e com cinzas recobrando o seu corpo (Buco, 2011) (Figura 68). Dado geohistórico do local de interesse geológico e relacionado à sua importância refere-se a que datações sobre materiais provenientes de escavações ali realizadas marcam o período de transição do Pleistoceno para o Holoceno.

A localização do LIG com exposição diária aos raios solares tem um efeito direto no aquecimento das litologias expostas e em ação conjunta com a água, que infiltra no maciço aproveitando o caminho aberto pelas diáclases e a porosidade da rocha, respondem pela acentuada presença de deslocamentos, queda e rolamento de blocos e grandes cavidades, esta última mais presente no entorno da área em questão. A erosão diferencial responde pela feição mais cárstica observada, com formação de dutos e lapiás horizontais (Figura 69).

Feições de carste em rochas siliclásticas estão presentes na área do local de interesse geológico e em todo o seu entorno, com formação de cavernas, torres, lapiás horizontais e a forte contribuição da tectônica e porosidade inerente à própria rocha na formação da paisagem e instalação de movimentos de massa, neste caso predominantemente queda de blocos e deslocamento, com algum risco a visitantes.

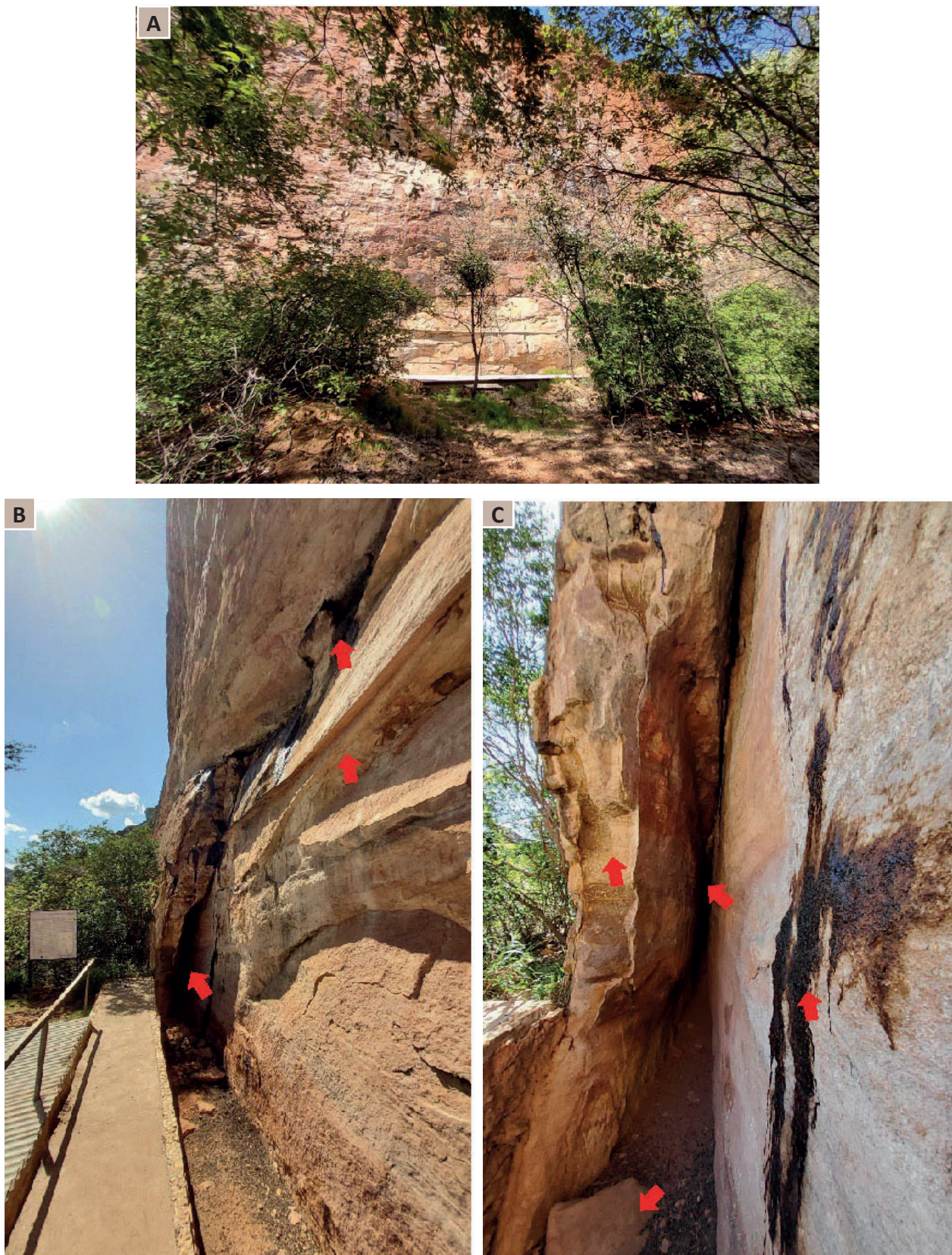


Figura 69 - Paredão íngreme submetido a forte ação da erosão diferencial (a) com cicatrizes de queda de blocos (b, c), deslocamento e diáclases (b, c) indicativos da fragilidade do maciço rochoso e ação conjunta da tectônica e agentes erosivos. Foto: Autores (2023).

7.3.16. Toca da Extrema II

A Toca da Extrema II configura-se como um abrigo sob rocha, identificada pelas coordenadas UTM 751972/9047687, com cavidade formada por ação de corrente fluvial na base da encosta arenítica com feições bem típicas e identificadoras da Formação Cabeças da Província Parnaíba com os seus polígonos tipo “casco de tartaruga” (Figura 70). Presença de estratificação cruzada e planar de grande porte onde o truncamento da estratificação cruzada com a planar é bem marcada por uma linha de seixos grosseiros subjacentes a uma camada de arenito conglomerático de textura média Este LIG localizado no vale da Serra Branca faz parte de um relevo do tipo ruiniforme.

Abrigo sob rocha arenítica localizado no sopé da Serra Branca e quando da sua descoberta foram encontrados quatro grandes blocos caídos com toda a área exposta coberta por gravuras, datadas de 3.130 +/- 50 anos BP, atualmente expostos no Museu do Homem Americano como medida de proteção contra a degradação a que estavam submetidos.

A encosta apresenta uma inclinação suave para NE na direção do vale e com sinais denunciadores de um grande desprendimento de bloco que se movimentou sobre blocos anteriormente caídos e que estão dispostos e visíveis no painel de pinturas na base da parede. Uma diáclase no lado posterior ao do painel também denuncia esta queda de bloco e expõe cicatrizes bem visíveis deste evento (Figura 71).

O LIG localizado a uma altitude aproximada de 390m, apresenta um comprimento de 13m e 6m de largura com frente para NW e orientado na direção NE-SW. A encosta expõe arenitos finos com camadas onduladas ou em estratos e intercalações de siltitos laminados. As superfícies de erosão diferencial observadas ao longo do paredão estão mais diretamente associadas às zonas de contato com o siltito. Marcas de eflorescência de sais em locais onde estão localizadas aberturas com escorrimo de água também podem ser observadas, constituindo zonas de fraqueza do maciço rochoso. Estudos geomorfológicos na área relacionam a origem desta Toca à ação erosiva de linhas de água que por aqui passavam em épocas pretéritas (Figura 72).

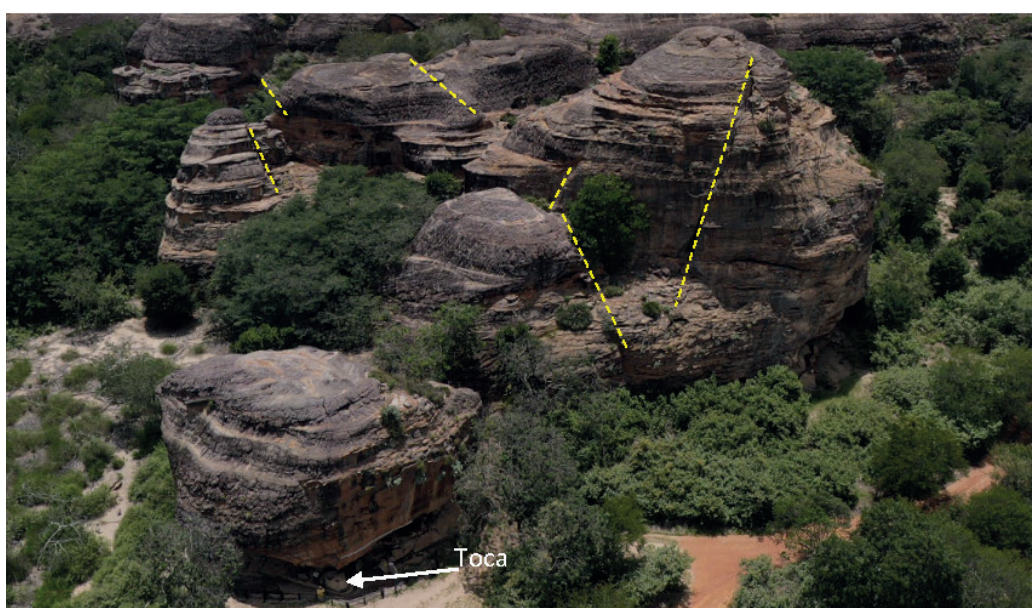


Figura 70 - Vista panorâmica da Toca e seu entorno com os principais sistemas de diáclases que controlam a estrutura da região. Na parte inferior esquerda o grande bloco na base do qual está o LIG da Toca da Extrema II. Foto: Autores (2023).

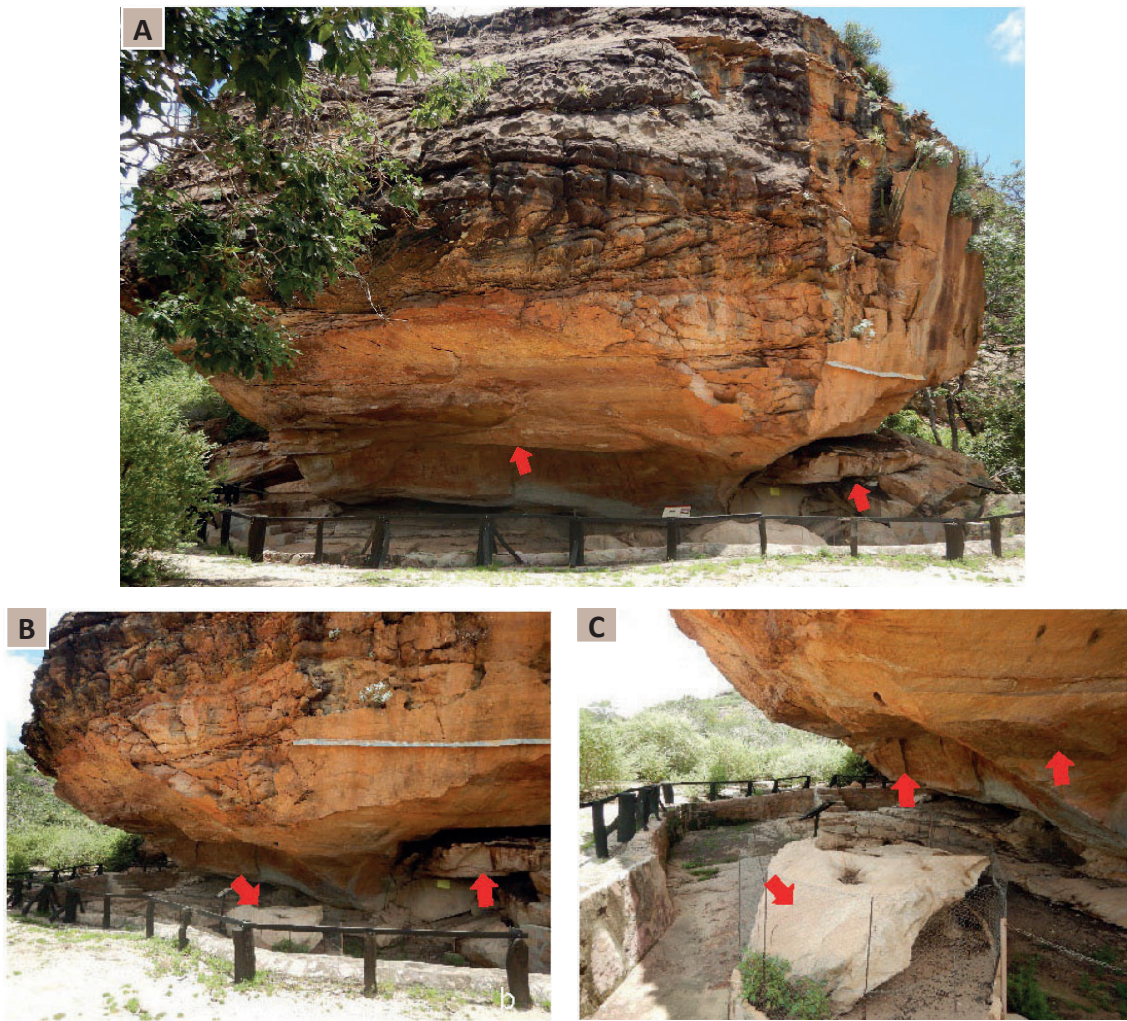


Figura 72 - Vista de frente (a) e lateral do LIG (b), com grandes blocos caídos colocados na base rochosa do abrigo, sinais de erosão diferencial e vista de um grande bloco que desprendeu-se do teto lateral (a, b).
Foto: Autores (2023).

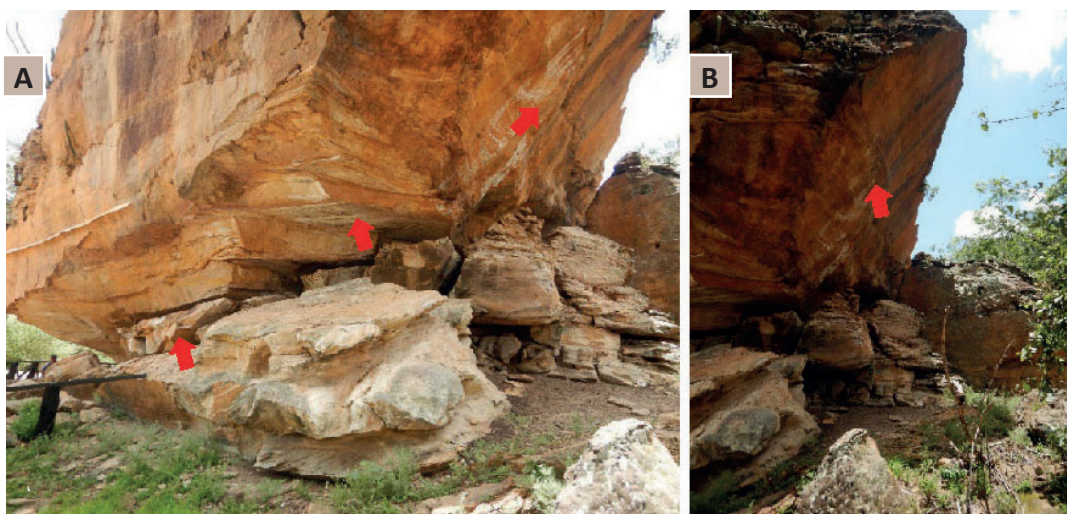


Figura 71 - Grande bloco que se movimentou ao se desprender do maciço rochoso (a), deslocamento bem visível na fratura exposta localizada no lado oposto da toca (b). Foto: Autores (2023).

O histórico tectônico por trás da formação do LIG já, por si, demonstra as forças envolvidas na formação da paisagem local. Como na maioria dos locais estudados, e aqui não seria diferente, a ação erosiva das águas pluviais aproveita esses pontos de fraqueza dos maciços rochosos para além das discontinuidades entre arenitos e siltitos da Formação Cabeças potencializar a sua ação e fragilizando mais ainda essas litologias e, como consequência, gerando situações de risco a partir da instabilização de blocos que, ao cair ou deslocar, constituem perigo aos visitantes. Com base neste histórico de quedas de blocos, aqui também o risco se apresenta num grau médio de ocorrência necessitando, como no geral, de monitoramento.

7.3.17. Toca do Caboclo da Serra Branca

Abrigo sob rocha, identificado pelas coordenadas UTM 752466/9043806, com exposição de arenito grosseiro com níveis de conglomerado e óxidos de ferro e veios de quartzo preenchendo fraturas das litologias da Formação Cabeças que aqui expõe suas feições características em afloramento: formação de polígonos/casco de tartaruga, alvéolos e erosão diferencial na forma de lapiás horizontal,

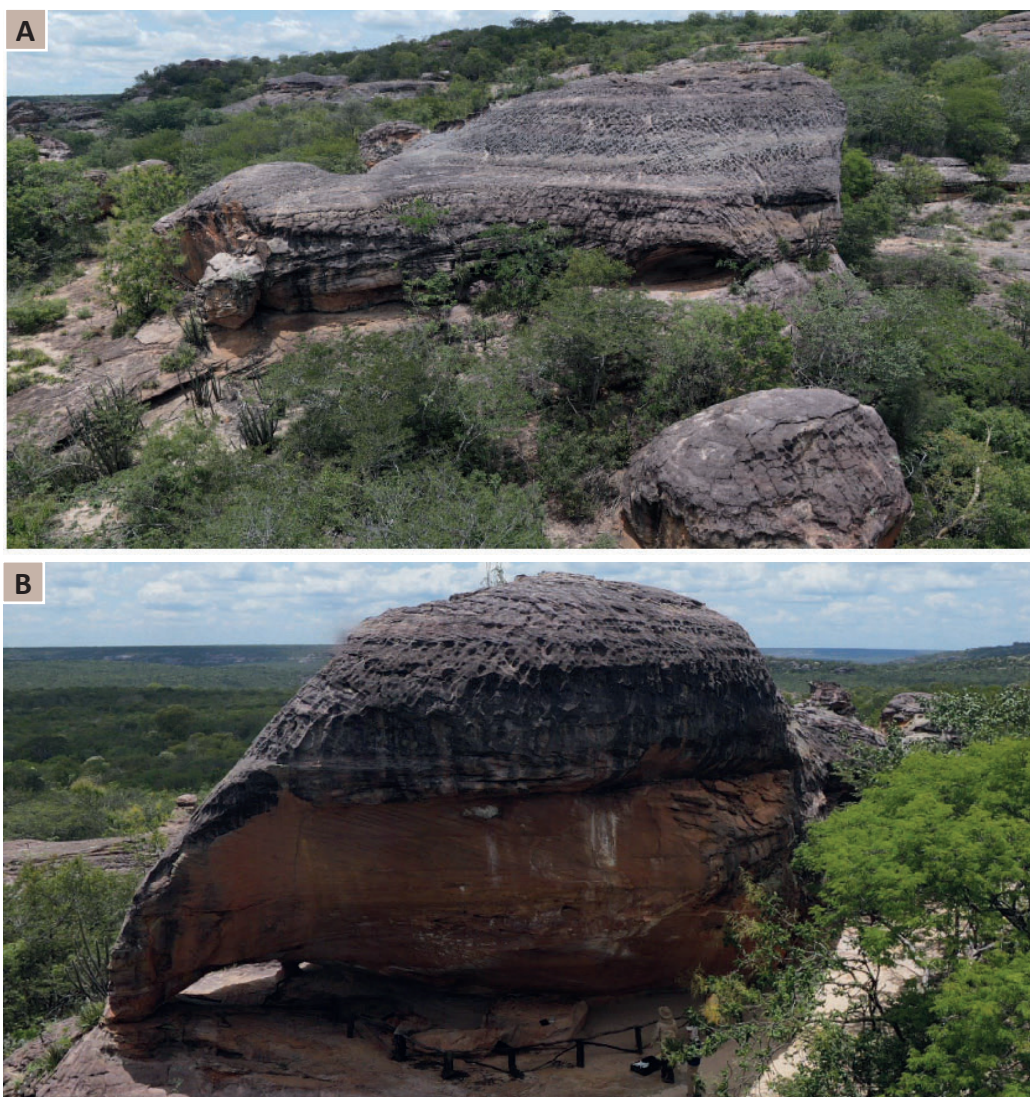


Figura 73 - Vista de cima do LIG, com exposição das feições cársticas do arenito Cabeças, com forte deslocamento (a) e formação de arco (b). Foto: Autores (2023).

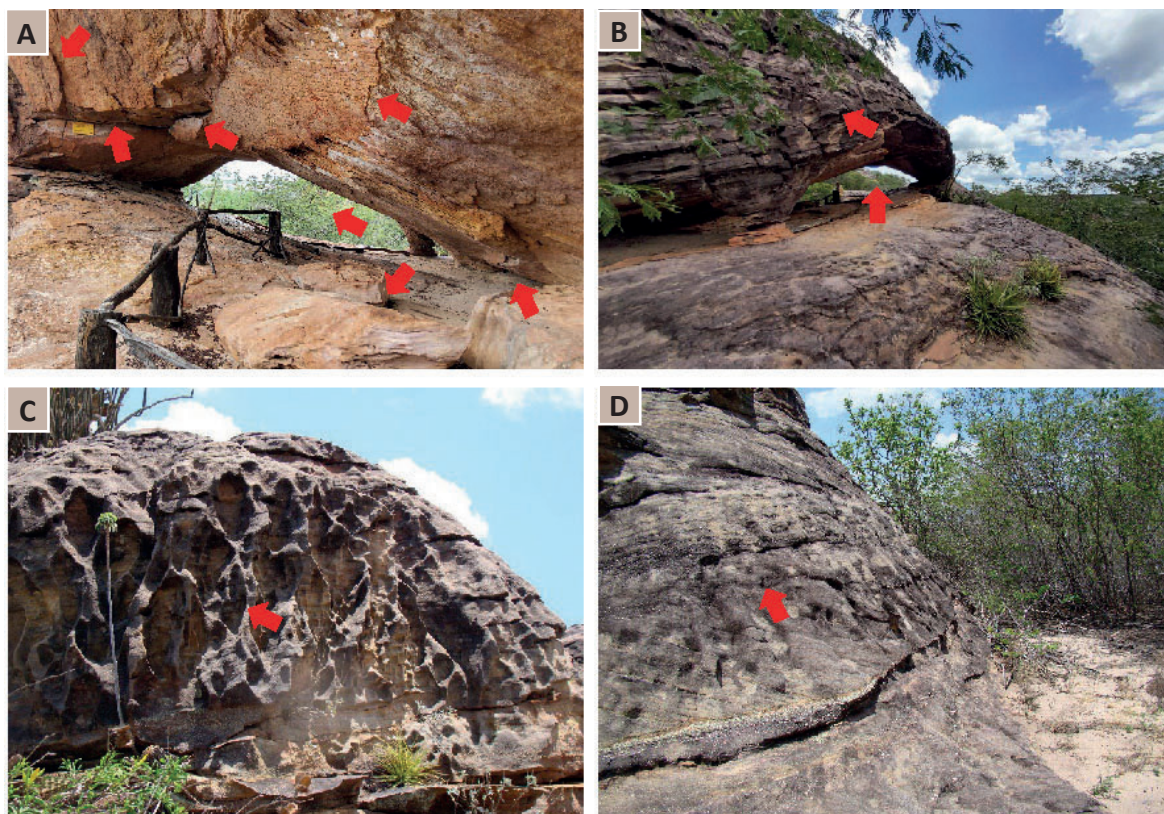


Figura 74 - Vista de frente (a) e verso(b) do LIG da Toca da Passagem, mostrando blocos caídos, cicatrizes de quedas de bloco, bloco em balanço, deslocamento, feições cársticas - alveolização, predominantemente (c); sedimentação cruzada (b, d) com linhas de seixos

ou seja, feições ruiformes. Estas feições estão restritas a uma porção mais superior da rocha, não se aprofundando gerando, assim, um forte deslocamento (Figura 73).

Para Ab'Saber (1977), a topografia ruiforme é uma feição morfológica geralmente encontrada em arenitos diaclasados nas mais diferentes formas geométricas. Maingnet (1972), para além das diáclases estabelece uma estreita relação com rochas estratificadas e fraturadas. A presença de arcos como os encontrados neste LIG, resultam de uma erosão alveolar cujos alvéolos aprofundam-se nos afloramentos até atravessar as paredes de um lado a outro. De um modo geral, estratificação planar e cruzada de médio porte estão associadas ao arenito mais grosseiro; onde o arenito é mais conglomerático e com estratificação horizontal os seixos atingem tamanho de até 10cm.

O local de interesse geológico está representado por um grande bloco de arenito que foi submetido a intenso processo de erosão alveolar formando um arco com uma abertura que permite se ter, a partir do alto deste planalto, uma vista espetacular de uma ampla e bela paisagem. (Figura 74).

Presença de blocos em balanço e cicatriz de queda de blocos para além de acentuado processo de deslocamento e um sistema de diaclase que instabilizam e individualizam grandes blocos constituem os principais sinais de instalação de pontos de risco neste LIG e que apresentam perigo de atingimento com danos aos visitantes. Sob a passagem do arco estão blocos instáveis e com forte tendência a queda e tombamento (Figura 75).

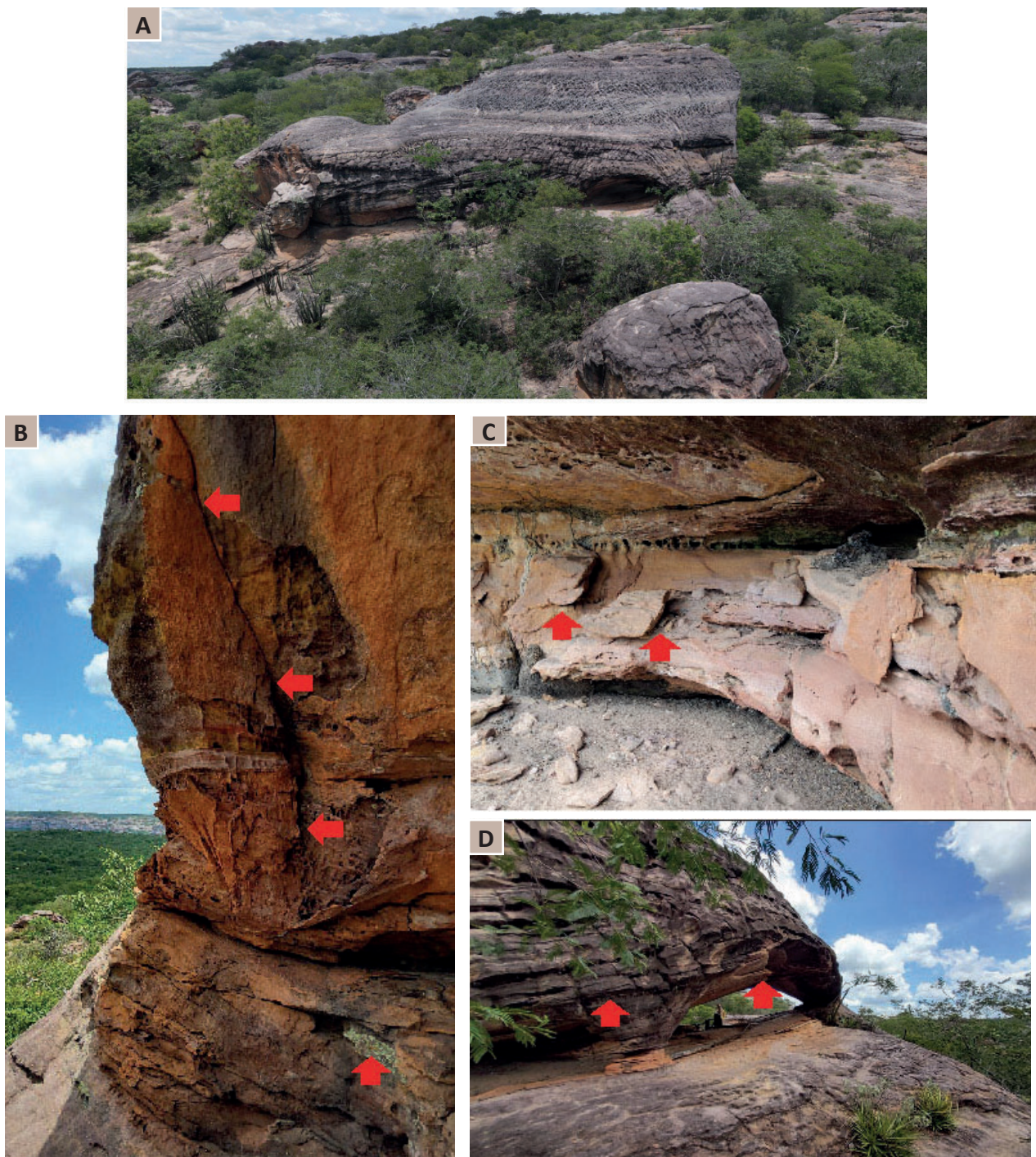


Figura 75 - Sinais da ação modificadora e destabilizadora das feições do maciço rochoso pela erosão diferencial das águas meteóricas e de circulação interna no maciço rochoso: formação de alvéolos, nichos deslocamento (a, c); alargamento de descontinuidades com quedas de blocos e instabilizações de outros (b, c, d).

Foto: Autores (2022, 2023).

Formação de dutos que atravessam o maciço rochoso formando arcos em cujas paredes estão blocos em balanço como marcas de outros que se encontram caídos na base do maciço, blocos de camadas de arenitos individualizados pela ação da água de circulação interna que aprofunda as descontinuidades entre estratos e potencializando a queda dos mesmos, formação de crostas que marca locais

de deslocamento e grandes blocos com forte tendência a tombamento são os principais sinais que oferecem risco aos visitantes efetivamente em períodos pré e pós grandes eventos climáticos com chuvas intensas com descargas elétricas.

7.3.18. Toca da Passagem

Abrigo sob rocha arenítica de textura fina com estratificação cruzada que se alterna com camadas de siltitos localmente deformadas e inseridas na Formação Cabeças da Província Parnaíba, identificado através das coordenadas UTM 750591/9050024. O arenito é bem friável e apresenta na zona de truncamento da estratificação cruzada níveis conglomeráticos. Presença das características formas poligonais relacionadas a esta Formação (Figura 76).

Os arenitos da Formação Cabeças estão bem representados com todas as feições e processos erosivos típicos da mesma: erosão diferencial com formação de lapiás horizontais, alvéolos e deslocamentos. Como ação final da água que infiltra no maciço segundo planos de descontinuidades e que surge na parede externa por ação da temperatura que aquece os paredões ocorre a formação de grandes superfícies de deslocamento instalados perpendicularmente aos estratos areníticos. A ação da água que atravessa o maciço poroso e chega até a parte externa para além de carrear os finos potencializa a retirada de grãos de finos pela ação do vento no processo de arenização. A presença de arcos nos afloramentos de arenitos da Formação Cabeças, resulta de uma erosão alveolar cujos alvéolos progridem pelo processo de piping até atravessar as paredes de um lado a outro (Figura 77).

O perigo inerente a LIGs com estas características estão associados a deslocamento, quedas de blocos seguidas de rolamentos. A presença de blocos em balanço e cicatrizes de quedas de bloco levanta a necessidade de monitoramento e os cuidados devidos nos períodos pós chuvas intensas que podem potencializar esses riscos em grau mais elevado de atingimento a visitantes.



Figura 76 - Vista de cima da Toca da Passagem e entorno com feições erosivas típicas dos arenitos da Formação Cabeças da Província Parnaíba. Foto: Autores (2023).

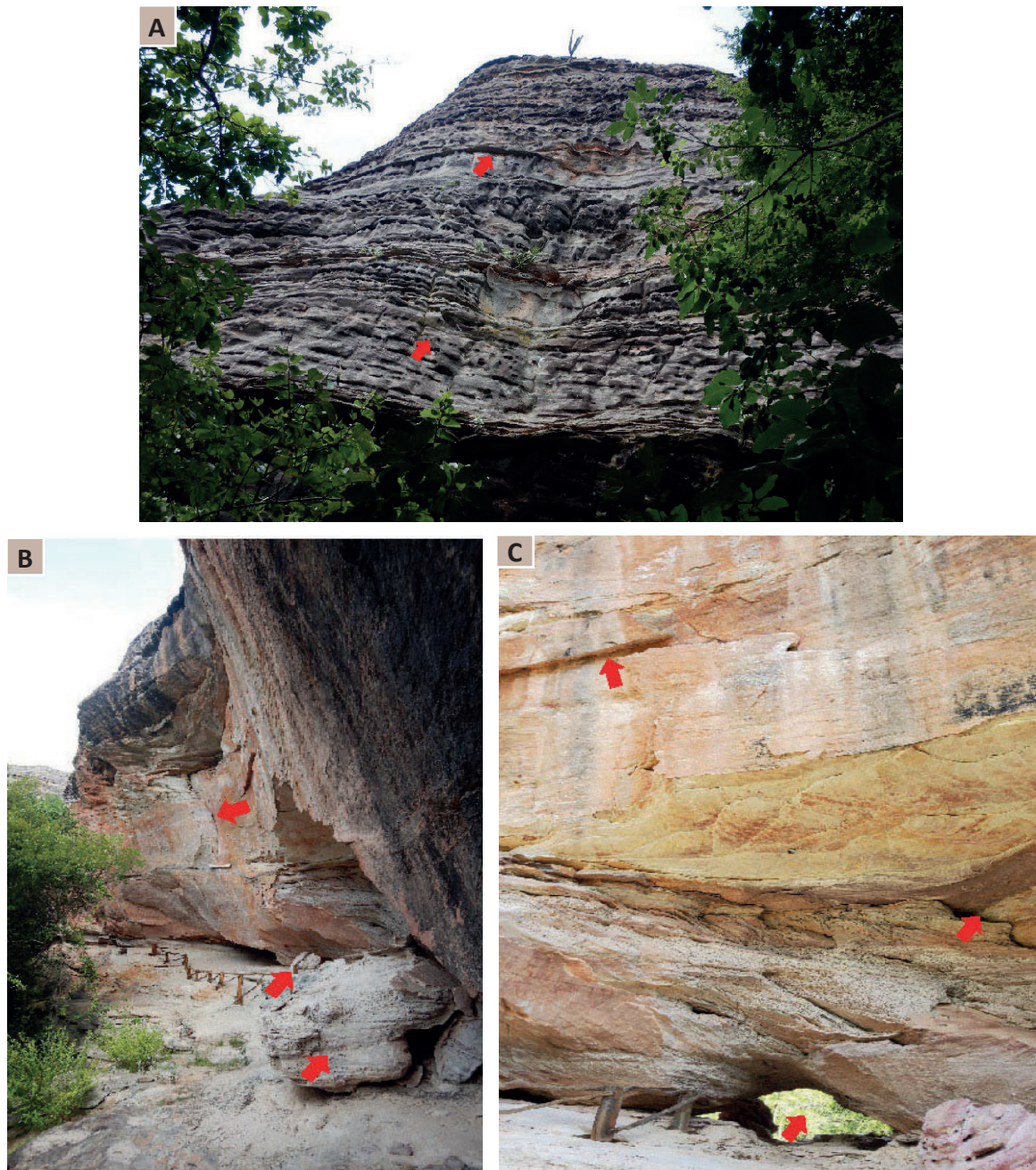


Figura 77 - Feições de instabilização do maciço: erosão diferencial ao longo das descontinuidades no contato arenito-siltito com formação de lapiás horizontal (a), quedas de blocos pela fragilidade do maciço em zonas de arenização (b, c), blocos em balanço (b, c), deslocamento e dutos alveolares (b, c).
Foto: Autores (2023).

7.3.19. Toca do Baixão do Perna I

Vista de cima e frontal do abrigo sob rocha da Toca do Baixão do Perna I, identificado pelas coordenadas UTM 762572/9021776, posicionado a uma altitude de 500m, localizado no fundo do vale e expando arenito conglomerático e conglomerado, litologias da Formação Ipu da Província Parnaíba. Datações realizadas em material deste local de interesse geológico posicionam-no à margem de um cânion por onde, em épocas de clima úmido entre 10 e 3 mil

anos atrás, passava um rio. É nítido o forte controle tectônico das litologias neste local com grandes linhas de diáclases, blocos tombados e em balanço (Figura 78).

Sobre o arenito com estratificação cruzada planar e acanalada de médio porte ocorre processo de formação de “folhas de ferrificação” que cortam as estruturas primárias, estas submetidas a forte ação da erosão diferencial e eólica como demonstrado pela deposição de um pó vermelho-amarelado da alteração do arenito e siltito na base do abrigo rochoso (Figura 79).



Figura 78 - Vista panorâmica de cima (a) e frontal (b) da Toca do Baixão do Perna I com sinais do forte controle tectônico (diáclases em tracejado amarelo, a), blocos tombados (a) e da erosão diferencial pelas águas pluviais (a, b) e pela erosão eólica (b). Foto: Autores (2023).

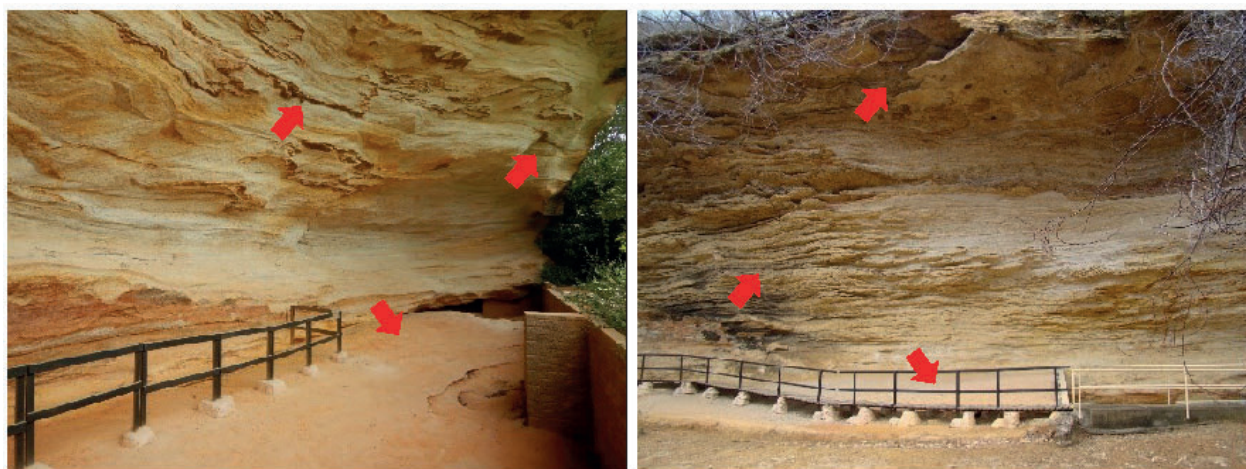


Figura 79 - Processos de exudação de lâminas de ferrificação no arenito, com forte ação das águas pluviais, com formação de dutos e erosão diferencial, e erosão eólica acentuada das litologia mais finas. Foto: Autores (2023).

Este é um dos locais de interesse geológico mais castigados pelo processo de desagregação da rocha sob forte ataque da erosão eólica e, conseqüentemente, com o maior número de pinturas rupestres destruídas ou descaracterizadas. As diferentes formas adquiridas pelos estratos e que se podem observar nas paredes do abrigo demonstra bem a ação conjunta e facilitadora da desagregação efetivamente imprimida pela erosão diferencial das águas de infiltração e de escorrência durante os eventos climáticos com chuvas torrenciais e caem nesta área do PNSC. Como resposta a estes agentes erosivos a rocha porosa sofre desagregação com queda de blocos e deslocamento (Figura 80).

Posicionado no fundo do vale este abrigo tem 67m de comprimento por 13m de largura com frente aberta para Sul orientado na direção W-E. A arenito da parte basal apresenta uma textura fina e cor branco-avermelhado



Figura 80 - Feições de desagregação do maciço rochoso pelos agentes externos com risco alto de quedas de blocos (a, b, d), deslocamento (d) e blocos em balanço (b, d), material fino desagregado da rocha por ação do vento ©. Foto: Autores (2023).

com porção superior do teto formado por conglomerado. As paredes do abrigo apresentam-se desgastadas pela erosão e escamações ferríferas que constituem pontos de fraqueza e desmonte de material. Em função do maciço encontrar-se submetido à forte ação das águas pluviais, tectônica e vento o risco para movimentação de massa (queda de blocos, deslocamento) tem grau médio com possibilidade de atingimento aos visitantes. Recomenda-se monitoramento, principalmente em momentos pré e pós evento chuvoso forte.

7.3.20. Baixão das Andorinhas/Toca do João Daniel das Andorinhas

O nome do local de interesse geológico vem do fato de todos os finais de tarde um bando de andorinhas chegarem em revoadas e depois mergulharem para o cânion, que na verdade corresponde a um *slot canyon*, ou seja, cânion formado em ambiente de *soerguimento rápido* com canais profundos e estreitos, característica está bem de acordo com o soerguimento desta área durante o processo de abertura do Atlântico Sul com reativações de falhas (Figura 81). As andorinhas chegam a este local vindas do sul do Brasil no período de inverno e do Canadá nos meses de outubro a fevereiro (Buco, 2011). O LIG pode ser identificado pelas coordenadas UTM 754382/9019622. (Figura 81).

Este LIG é caracterizado pelas feições marcadamente esculpidas pela forte contribuição da tectônica e pela força erosiva das águas pluviais e subterrâneas com sinais evidentes da sua importância no modelado do relevo. São inúmeros planos de falhas e diáclases que individualizam e instabilizam blocos que tem seus movimentos potencializados pela ação das águas pluviais e de infiltração. As águas pluviais têm sua ação erosiva facilitada quando se apropriam das linhas de fraquezas das rochas, na forma de falhas e diáclases, alargando-as e instabilizando blocos ou penetrando no maciço rochoso fragilizando-o e carreando os finos numa ação forte de

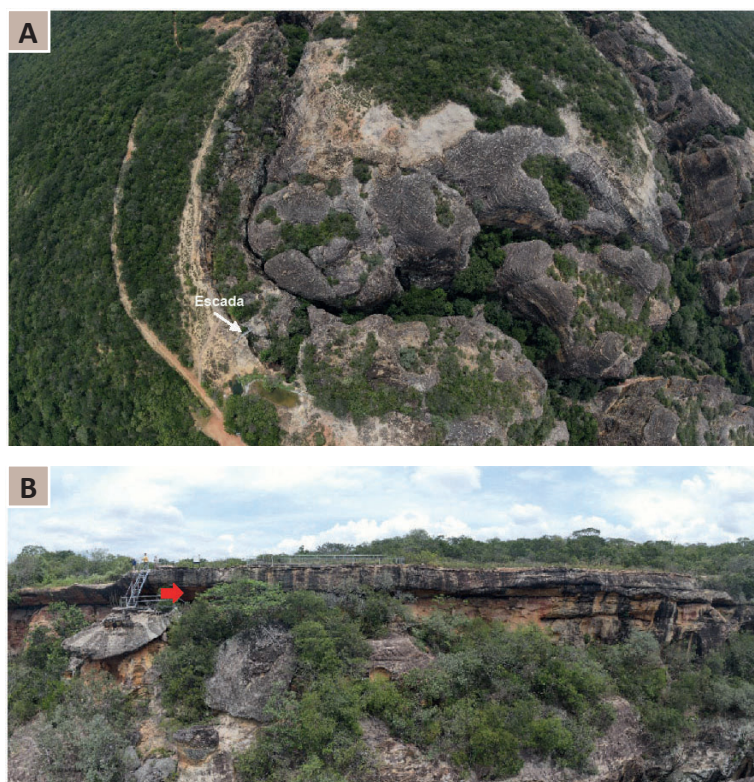


Figura 81 - Vista de cima (360° - a) e frontal com destaque para a Toca do João Daniel das Andorinhas (b) do *slot canyon* do Baixão das Andorinhas. Foto: Autores (2023).

erosão diferencial. Ao escorrer na superfície externa do maciço rochoso deixa suas marcas na forma de alvéolos e lapiás, predominantemente (Figura 82).

A presença de *kamenitzas* ou panelões ocorrem como sinais da força e movimento turbilhonar dessas águas e os *karrens* alveolares que se transformam em dutos reforça essa força das águas que circularam interna/externamente nesses maciços e que continuam esculpindo feições cársticas nos tempos atuais (Figura 83).

A erosão pluvial tem atuado na área do PNSC aproveitando desse sistema de diáclases, aprofundando-as e potencializando movimentos de massa, predominantemente do tipo queda e rolamento de blocos, encontrados neste e em outros locais de interesse geológico distribuídos por toda a área estudada constituindo, em cada caso, áreas de risco com perigo de atingimento aos visitantes (Figura 84).

O maciço rochoso encontra-se fortemente compartimentado por falhas e diáclases de diferentes direções, ficando assim fortemente instabilizado e sujeito a movimentação que, em caso de queda, podem atingir os visitantes. Portanto, recomenda-se a não liberação para visitação e principalmente o não acesso ao primeiro piso onde se encontra a Toca do João Daniel quando no período invernosos a região for atingida por chuvas torrenciais fortes. Uma vistoria prévia seria aconselhável e instalação de placas informativas e orientações aos turistas sobre o tipo de risco a que eles estarão expostos durante visitação a esse local de interesse geológico. O uso para contemplação e apreciação da paisagem e das revoadas das andorinhas no final da tarde não tem restrições.

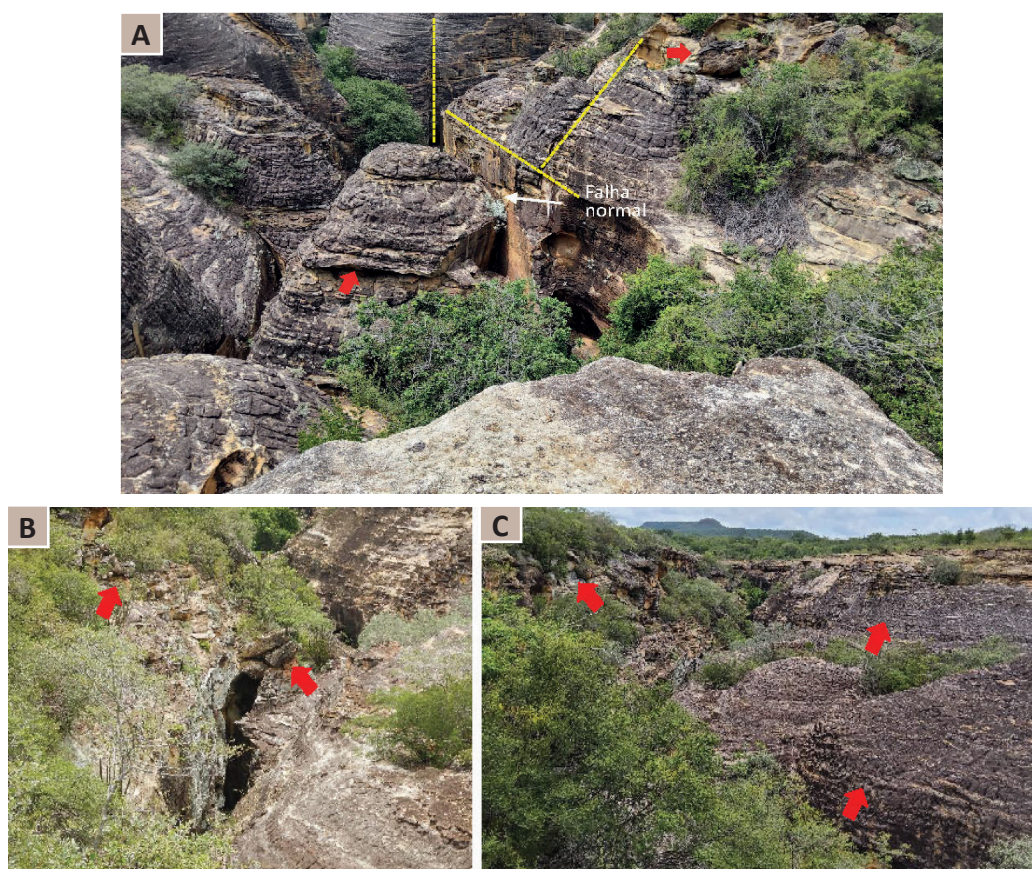


Figura 82 - Forte controle tectônico no modelado do Baixão das Andorinhas com falhas e diáclases (a) facilitando a ação erosiva das águas pluviais gerando feições cársticas como alvéolos e lapiás (a, c) e facilitando quedas e rolamento de blocos (a, b, c). Foto: Autores (2023).

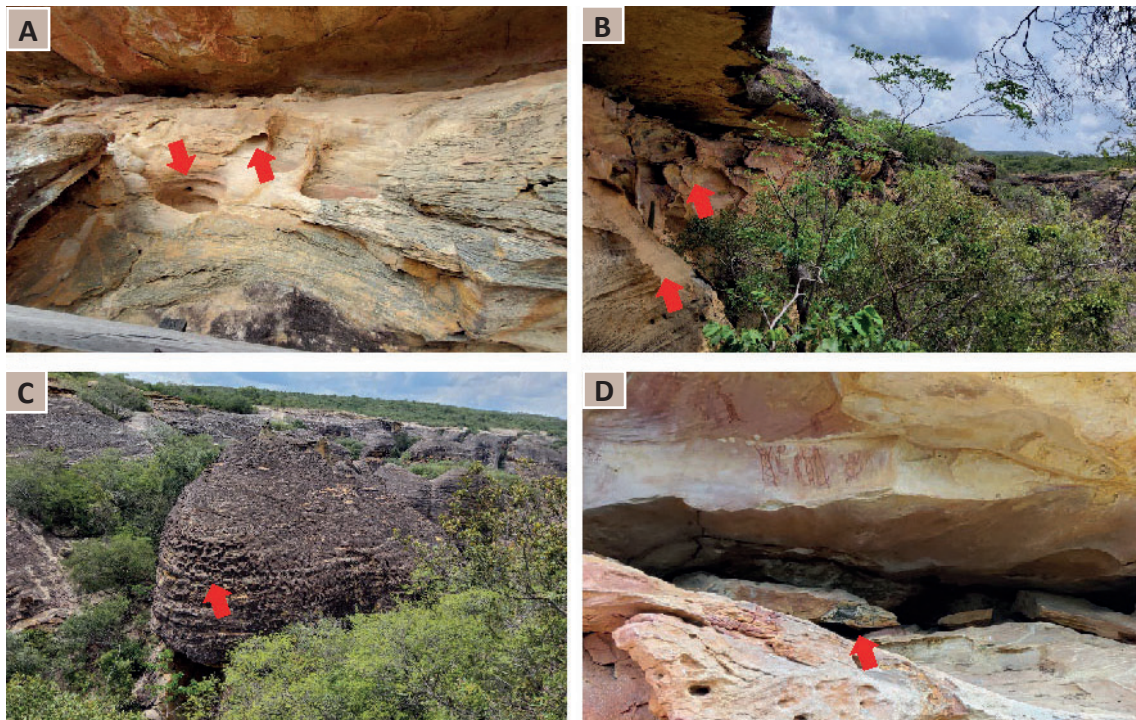


Figura 83 - Feições cársticas, externas (alvéolos – c) e internas (dutos, kamenitzas – a; deslocamento, nichos – a, b), e tectônicas que fragilizam a encosta potencializando movimentos de massa: queda de blocos (d). Foto: Autores (2023).

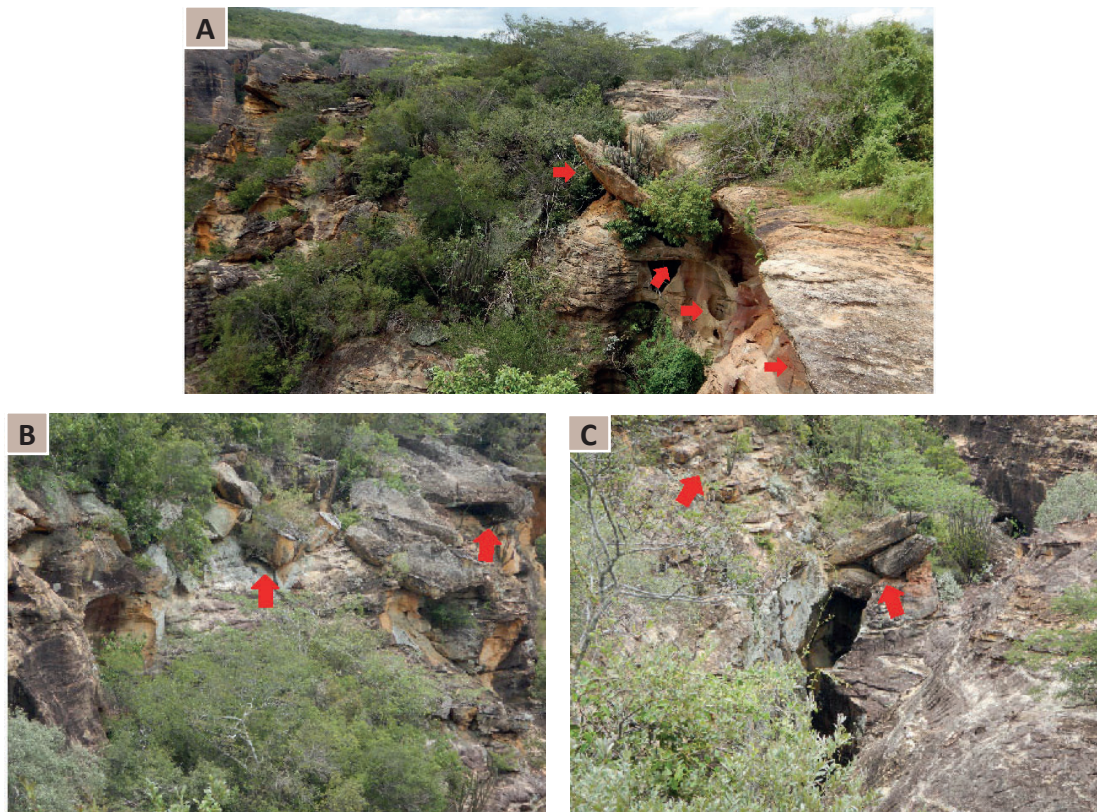


Figura 84 - Pontos de elevada fragilidade do maciço rochoso (a) e instabilidade localizada de blocos caídos, rolados que obstruindo o canion e em condições de movimentações (a, b, c). Cicatrizes de quedas de blocos e blocos em balanço são visíveis na área de quebra do relevo (a). Foto: Autores (2023).

7.3.21. Toca do Estevo II ou da Onça

A pintura rupestre de uma onça de grandes proporções encontrada no paredão deu nome a este local de interesse geológico e merece destaque por ser uma pintura única, não encontrada em nenhum outro local do PNSC (Figura 85). Blocos em balanço e fragilização do arenito pela percolação das águas pluviais facilitando a erosão eólica são feições expostas neste local de interesse geológico.

Instalado na meia encosta em área de *cuesta*, a uma altitude de cerca de 330m com cerca de 40m de comprimento e 15m de largura, com frente voltada para NW e orientação NE-SW e identificado pelas coordenadas UTM 781737/9046410, o paredão expõe rochas areníticas de textura fina a média e níveis conglomeráticos com presença das *stone lines* e ocorre com algumas falhas, diáclases e nichos. As *stone lines* truncam as estruturas indicativas de processos eólicos, como marcas do tipo “linhas de agulha”, envolvidos na sua formação, e individualizam patamares do arenito com estratificação cruzada (Figura 86).



Figura 85 - Vista de cima da Toca com forte controle tectônico e erosivo da área (a) e painel com pintura da onça que dá nome ao local de interesse geológico (b). Foto: Autores (2023).

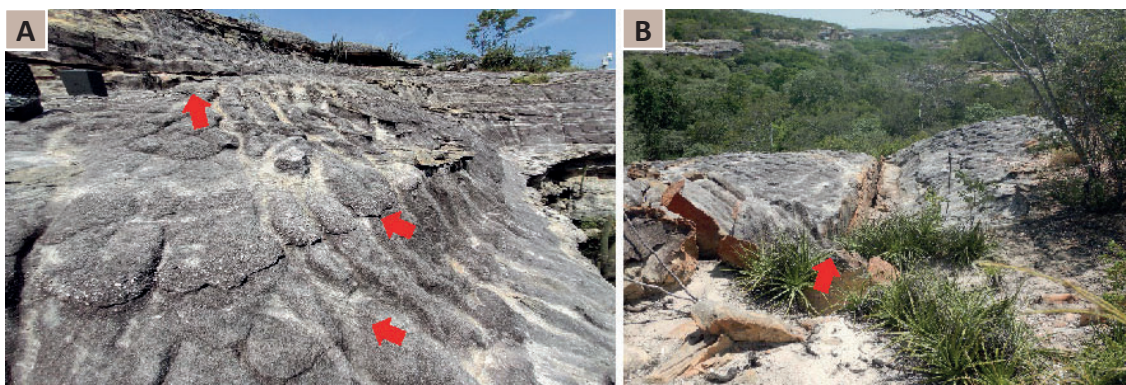


Figura 86 - Stone lines individualizando patamares areníticos submetidos a forte erosão diferencial (a) e falhas que instabilizam e movimentam blocos (b). Foto: Autores (2023).

A erosão alveolar na forma de arco contribui para uma desagregação mais facilitada do arenito condicionada a algumas outras características, tais como: estruturação primária da rocha, características e comportamento das águas subterrâneas, ação da atmosfera e cristalização dos sais minerais. Tanto o arenito quanto o conglomerado apresentam uma porosidade elevada o que facilita a percolação das águas pluviais que exerce, assim a ação de erosão diferencial carreando os finos e possibilitando a instalação de movimentos de massa na forma de escamação ou formação de crostas que se desprendem das paredes com materiais de tamanhos diversos desde pequenas crostas a placas decimétricas, desprendimento de seixos e quedas de blocos com subsequente rolamento com forte poder de causar danos físicos a visitantes. (Figuras 87 e 88).



Figura 87 - Feições de risco com forte poder de causar danos físicos a visitantes: alveolização com queda e tombamento de bloco (a); erosão diferencial ao longo das discontinuidades (a, b, c, d); esfoliação e queda de seixos (d, e). Foto: Autores (2023).



Figura 88 - Nichos instáveis e cicatrizes de desprendimento (a); blocos instáveis (b, d), fraturados e caídos e cicatriz de quedas (d), esfoliação (b) e seixos instáveis por lavagem e carreamento do cimento pela erosão diferencial (c).
Foto: Autores (2023).

As diáclases e falhas atuam como facilitador da ação erosiva das águas pluviais na escorrência superficial e ao infiltra-se, alargando-as e carreando finos e sais, estes depositados na porção externa dos paredões criando uma crosta que pode ser deslocada e oferecer risco a pessoas em trânsito por este LIG. A ação da temperatura é um forte aliado nestes processos principalmente na quebra e esfoliação ou formação de placas perpendiculares ao acamamento, contribuindo para instabilização do maciço rochoso e geração de pontos de risco de grau médio quanto ao poder de atingimento aos visitantes. Monitoramento e restrições de visitas pré e pós eventos climáticos de chuvas fortes com relâmpagos e trovoadas deve ser uma prática constante afim de garantir a integridade física durante visitas a este local de interesse geológico.

7.3.22. Toca do Alexandre

Abrigo sob rocha com paredões de arenitos com estratificação cruzada acanalada, fortemente mascarada pela ação das águas de escorrência na sua parte externa, conglomerados e folhelhos e identificado pelas coordenadas UTM 765154/9019520. O arenito ocorre com textura média a grosseira, com presença de clastos, depositados por ação de correntes de velocidades moderadas em regime de fluxo inferior (Picard & High, 1973). Localmente observa-se preenchimento de pequenos canais. Os pelitos laminados ocorrem em camadas delgadas, com cores do amarelo ao vermelho forte, como produtos de decantação de siltes e argilas em suspensão em meio aquoso, e/ou associados a depósitos de canais abandonados ou de final de inundação (Figuras 89, 90 e 91).

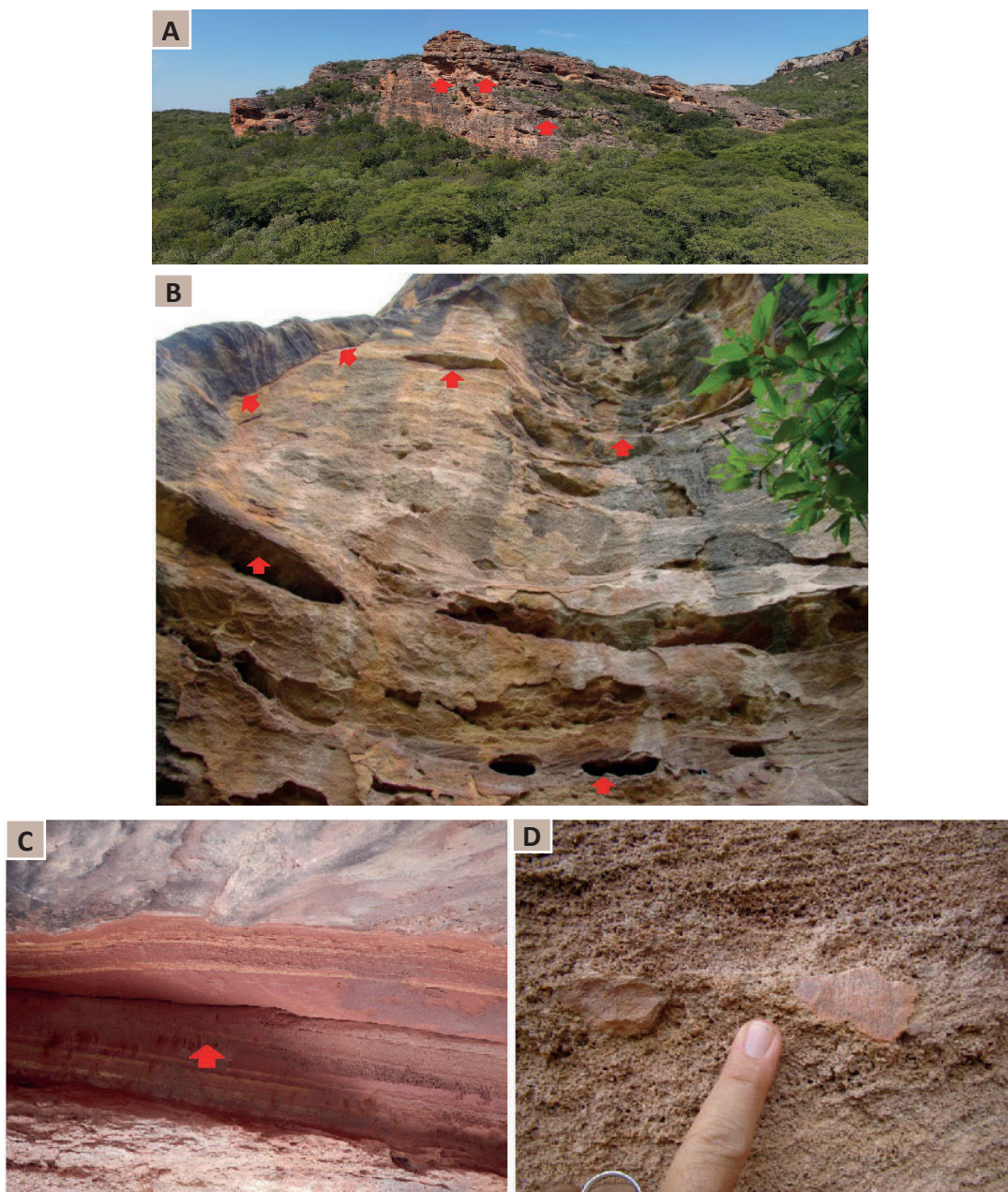


Figura 89 - Vista de cima do abrigo (a) e feições do arenito sob forte ação da erosão meteórica diferencial (b), camadas de siltitos intercaladas no arenito (c) e arenito poroso com clastos (d). Foto: Autores (2023).

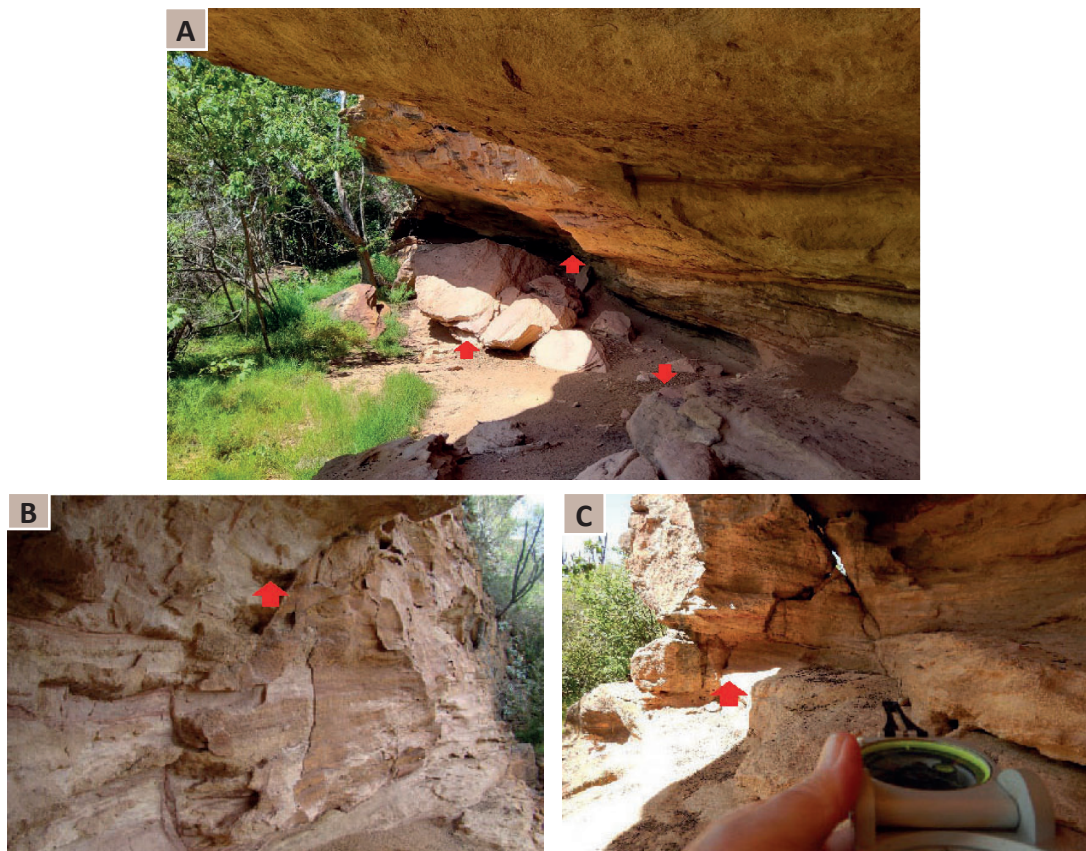


Figura 90 - Feições e sinais que demonstram a fragilidade das paredes do abrigo sob rocha, intensamente fraturado, com blocos caídos (a, c) e cicatrizes destes eventos (a, b), blocos instabilizados e em condições de queda e tombamento com risco de atingimento a visitantes pois estão posicionados ao longo da trilha de visita (b, c). Foto: Autores (2022, 2023).

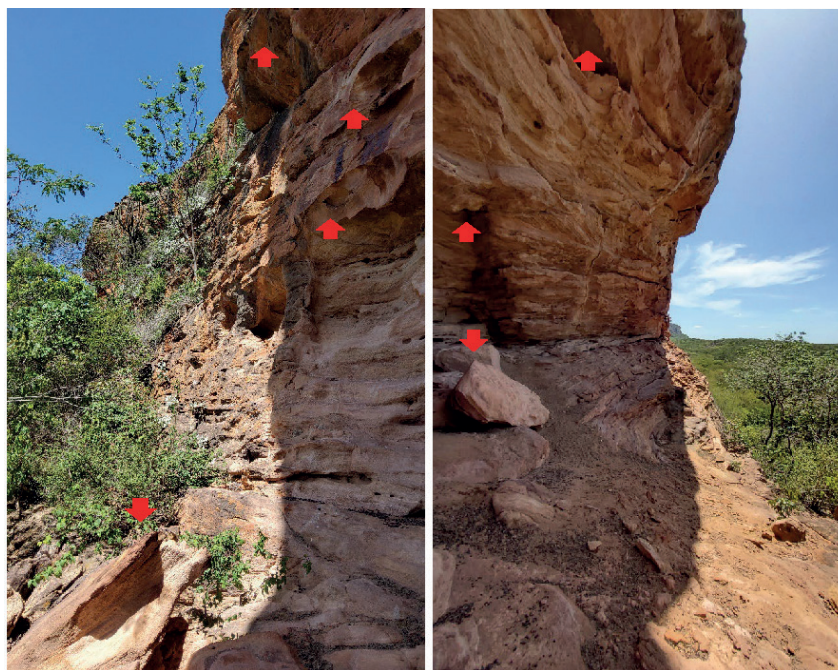


Figura 91 - Paredões íngremes sob forte ação erosiva das águas pluviais que escorrem do topo até a base, levando blocos a caírem e rolarem até pontos mais abaixo da encosta média. Presença de blocos caídos e em balanço, nichos e erosão diferencial ao longo das discontinuidades. Foto: Autores (2023).

Os lineamentos representativos das grandes estruturas tectônicas na região da borda sudeste da Província Parnaíba são tão notáveis que as suas evidências vão até a escala de afloramento onde podem ser observados modificando as características estruturais e composição dos estratos através de pequenos falhamentos gravitacionais (Figura 92), com direção preferencial NE-SW e NW-SE ou pequenos dobramentos. Essas pequenas falhas normais ou gravitacionais observadas na base do Grupo Serra Grande tem origem possivelmente relacionada aos efeitos da megaestrutura do Lineamento Transbrasiliano que corta toda a região.

Toca do Alexandre é um dos dois locais de interesse geológico mais fortemente submetido a ação da tectônica regional com diáclases e falhas que instabilizam e individualizam blocos de grandes dimensões em situação de risco de queda ou já caídos, como observados por toda a toca. As águas pluviais ao percolarem essas linhas de fragilidades instaladas no maciço rochoso têm potencializado, em ação conjunta com temperatura, movimentos de massa nas formas de quedas e rolamento de blocos, deslocamentos para além de facilitar a ação erosiva dos ventos com retirada dos finos que estão depositados na base desses paredões. As recomendações para evitar perigo de atingimento a visitantes são os mesmos já mencionados para outros pontos como estes ou seja, monitoramento em períodos de inverno rigoroso e grandes precipitações, colocação de placas de alerta em locais onde o risco é mais alto e sempre informar do perigo.

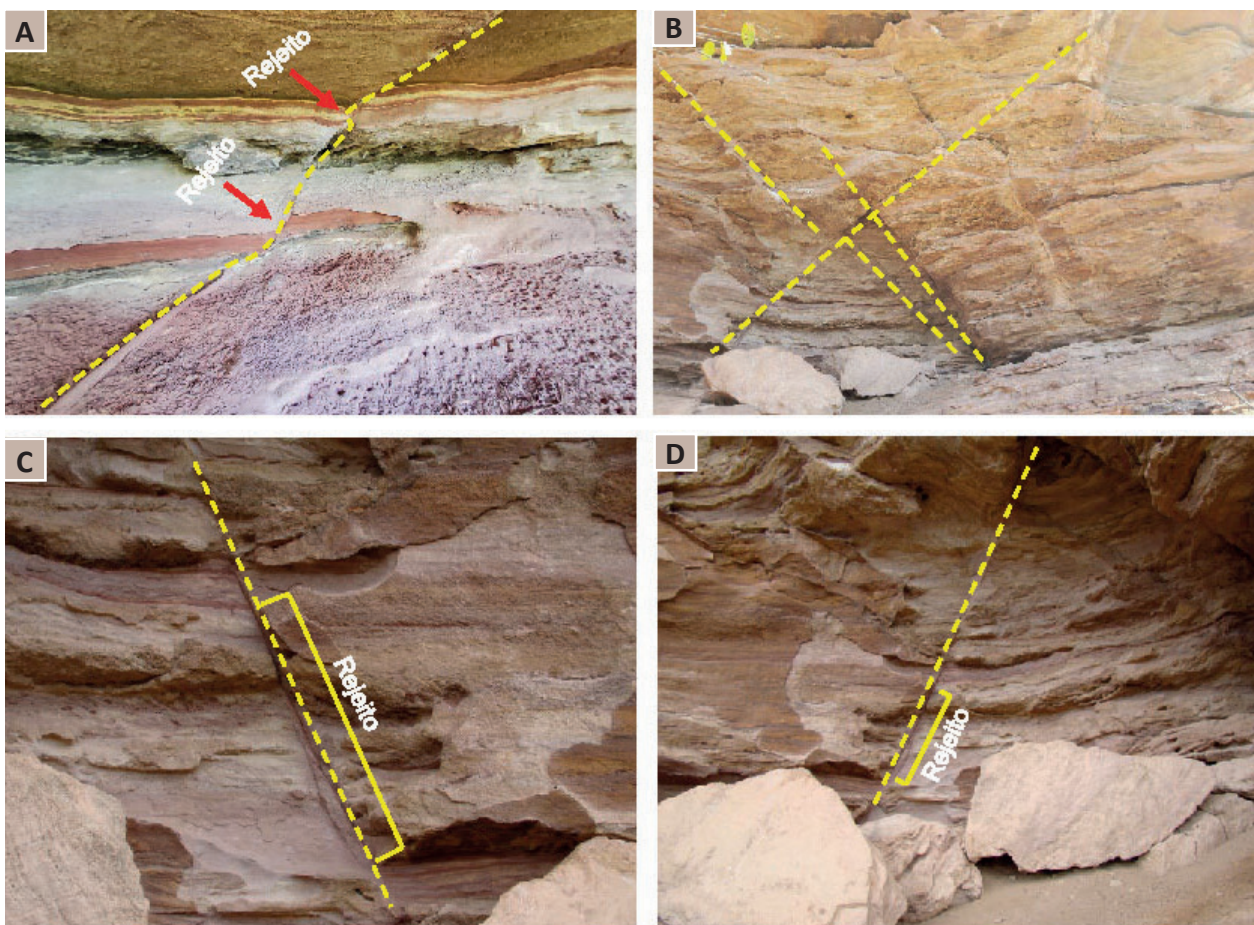


Figura 92 - Pequenos falhamento com movimentação ao longo de planos de falhas como indicativo da influência e controle tectônico no modelado da paisagem e fragilidade do maciço rochoso relacionados aos efeitos do Lineamento Transbrasiliano que corta a região com direção preferencial NE-SW, movimentando e instabilizando blocos.

Foto: Autores (2022, 2023)

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da análise das imagens de satélites e dos mapas temáticos elaborados fica nítido a importância e influência da tectônica na evolução e formação do relevo ruiforme por toda a área de extensão do Parque Nacional Serra da Capivara. Os valores tomados para as direções das diáclases em todos os lugares de interesse geológico que constam deste trabalho coincidem com aqueles correspondentes às falhas regionais do embasamento cristalino pré-cambriano que constitui o arcabouço estrutural da Província Parnaíba. As direções deste sistema de diáclases servem de caminhos para as águas das chuvas torrenciais na região com efeito potencializador do seu poder erosivo na evolução do modelado do relevo tornando o processo de meteorização física mais rápido. Sob determinadas condições estas águas podem ficar represadas nos “bolsoes” dentro das fraturas e posteriormente infiltrar-se pelos poros das rochas sedimentares, dissolvendo os finos segundo meteorização química que passa também a contribuir de forma acentuada na evolução do relevo.

De uma forma geral, a degradação e os riscos associados aos locais de interesse geológicos pesquisados e que constam deste levantamento têm os mesmos fatores como desencadeadores ou potencializadores diferindo, apenas, na intensidade e efeitos subsequentes. As fraturas apresentam uma predominância na direção NE-SW e NW-SE mesma direção dos grandes lineamentos estruturais do embasamento Pré-Cambriano e que possivelmente foram reativados durante e depois da abertura do Atlântico Sul condicionando os traços estruturais da Província Parnaíba. Portanto, é indiscutível a influência destes sistemas de diáclases na evolução e configuração geomorfológica do PNSC e que a influência do fator tectono-estrutural não pode ser desconsiderada nos estudos geomorfológicos de áreas com características semelhantes.

Diante de todas essas evidências que identificam os agentes diretamente relacionados às feições cársticas/ruiformes do modelado do relevo e respectivos riscos associados, necessário se faz que cuidados e atenções quanto ao monitoramento destes locais de interesse geológico tenham uma devida atenção principalmente quando a ação e presença destes agentes potencializadores e fragilizadores dos maciços rochosos ocorram de forma mais frequente e intensa. Como recomendado quando da caracterização de cada local de interesse geológico, a liberação de muitos desses locais após ocorrência de eventos de chuvas intensas deveria ser precedida de uma vistoria para evitar situações de risco à integridade física dos visitantes. Recomenda-se, ademais, a colocação de placas de identificação de locais com risco alto a muito alto de movimentação de massa e que estas informações sejam sempre repassadas pelos guias do Parque aos visitantes para que sejam reforçados os cuidados e atenções nestes pontos. Estas indicações e recomendações assumem importância diante da constatação in situ de que os perigos e riscos geológicos no PNSC são potencializados e resultam de fatores diversos que diante de uma ação conjunta contribuem para que os cuidados e atenção sejam mais urgentes e efetivos tanto da parte dos turistas e guias como da administração do Parque. Sabe-se, da prática que uma simples placa de sinalização em locais estratégicos do LIG, por si, contribui para que tragédias não aconteçam. Com isto, entendemos que as sugestões de intervenções, estruturais ou não-estruturais, sejam levadas em consideração e postas em prática diante da eficiência comprovada de que, quando bem implementadas, podem mitigar ou mesmo eliminar os riscos e perigos presentes em cada local de visitação pública.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Topografias ruiformes no Brasil. Geomorfologia n. 50. São Paulo: USP, 1977.14 p.
- AGUIAR G.A. 1969. Bacia do Maranhão – Geologia e possibilidade de petróleo. Belém/PA, PETROBRÁS/DENOR, 1969 (relatório interno) 55 p.
- AGUIAR, G.A. - 1971 - Revisão geológica da Bacia Paleozóica do Maranhão.
- ALMEIDA F.F.M. 1969. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia: 29-46.
- ALMEIDA F.F.M. de, HASUI Y., BRITO NEVES B.B., FUCK R.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. Atas do VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande – PB, 363-391 pp.
- ANDRADE, J.V. Turismo fundamentos e dimensões. São Paulo: Ática, 1995.
- ARNAUD, M.-B., EMPERAIRE, L., GUIDON, N., PELLERIN, J. 1984 L'aire archéologique du sud-est du Piauí (Brésil). Paris: Éditions Recherche sur les Civilisations, v.1: le milieu et les sites.
- BANCO MUNDIAL. Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2019. Banco Mundial. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil, 2 ed., 2020, 156p.
- BARBOSA, M. E. F & FURRIER, M. Sistemas de diáclases e influência tectônica da borda sudeste da Província Parnaíba: PNSC, Brasil. Revista do Departamento de geografia, 23: 250-266, 2012.
- BARROS, J. S.; OLIVEIRA FILHO, J. M. de.; OLIVEIRA FILHO, I. B. D; FERNANDES, R. J. A. R.; NASCIMENTO, J. R. da S. Avaliação Geotécnica dos Cânions do Rio Poti Buriti dos Montes, PI, 2022.
- BARROS, J. S.; FERREIRA, R. V; PEDREIRA, A. J; GUIDON, N. 2012. Geoparque Serra da Capivara – Proposta. IN: Geoparques do Brasil – Proposta. Volume I. 2012.
- BARROS, J. S.; FERREIRA, R. V.; PEDREIRA, A. J.; GUIDON, N. (2012). Geoparque Serra da Capivara: proposta. In: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. (Org.). Geoparques do Brasil: propostas. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. Cap. 14. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14608>
- BARROS, José Sidiney; CASTRO, Antônio Alberto Jorge Farias. Compartimentação geoambiental no complexo de Campo Maior, PI: uma área de tensão ecológica. Interações, v. 8, n.13, p. 119-130, set. 2006.
- BÉLO, Petrus da Silva. OLIVEIRA, Édison Vicente. Análise Tafonômica de marcas em restos esqueléticos de Hippidion, Local de interesse geológico Toca da Janela da Barra do Antonião, Piauí, Brasil. In: Estudos Geológicos v.23(2), 2013.
- BRILHA, J. Património Geológico e Geoconservação. A Conservação da Natureza na sua vertente Geológica. Palimage Editora, Viseu. Lisboa. 2005.
- BRILHA, José Bernardo Rodrigues. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. Geoheritage, v. 8, n. 2, p. 119-134, 2016.
- BRITO NEVES B.B. 1983. O mapa geológico do nordeste oriental do Brasil Escala 1:1.000.000. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo – S.P. Tese de Livre Docência, 177 p.
- BRITO NEVES, B. B. de; VAN SCHMUS, W. R; ANGELIM, L. A. A. Contribuição ao conhecimento da evolução geológica do Sistema Riacho do Pontal – PE, BA, PI. Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 15, n. 1, p. 55-93, Março 2015.
- BUCO, Elizabete. Turismo Arqueológico/Archaeological Tourism - Região do PNSC/Serra da Capivara National Park Region. Fundação Museu do Homem Americano, 2011.

- CAMPBELL, Donald Ferguson; ALMEIDA, Luiz Alves; SILVA, Salustiano de Oliveira. Relatório preliminar sobre a geologia da Bacia do Maranhão. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Petróleo, 1949. 160 p.
- CAPUTO M.V. & LIMA E.C. 1984. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 1984, SBG- Núcleo RJ/ES, (2):740-753.
- CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. 2005. Bacias sedimentares brasileiras: Província Parnaíba. *Phoenix*, 7(81): 1-7.
- CARBONARO, F.A., LANGER, M.C., NIHEI, S.S.; GUILARDI, R. P. Inferring ancestral range reconstruction based on trilobite records: a study-case on *Metacryphaeus* (Phacopida, Calmoniidae). *Sci Rep* 8, 15179 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33517-5>
- CARCAVILLA, L.; LÓPEZ-MARTINÉZ, J.; DURÁN, J.J. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Cuadernos del Museo Geominero, No. 7, IGME, Madrid. 2007.
- CAROZZI A.V., FALKENHEIN F.U.H., CARNEIRO R.G., ESTEVES F.R., CONTREIRAS C.J.A. 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, *Ciência técnica-petróleo. Seção de Petróleo*, (7):48p.
- CARVALHO, T. M. Métodos de sensoriamento remoto aplicados à Geomorfologia. *Geografia Acadêmica* v. 1 n. 1 (Xii. 2007) 44-54
- CORDANI U.G., BRITO NEVES B.B., FUCK R.A., PORTO R., THOMAZ FILHO A. & CUNHA F.M.B. 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Ciência técnica-petróleo. Seção de Petróleo*, (15):1-7.
- CORREIA FILHO, Francisco Lages; MONTEIRO, Adson Brito; SOUSA, Ney Gonzaga de Projeto Borda Sudeste da Província Parnaíba: relatório final. / Francisco Lages Correia Filho. --- Teresina: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2009.
- CORTÉS, A. Y CARCAVILLA, L. (2013). Documento Metodológico para la Elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Área de Investigación en Patrimonio Geológico y Minero del IGME.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa geológico do Estado do Piauí: mapas escala 1:1.000.000: Sistema de Informações Geográficas-SIG. [Brasília], 2006.
- CPRM – 2002. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em [http //www.geoambiente.com.br/website/cprm_geologico/viewer.htm](http://www.geoambiente.com.br/website/cprm_geologico/viewer.htm). Acessado em 19/04/2023. 2002
- CUNHA F.M.B. 1986. Evolução Paleozóica da Província Parnaíba e seu arcabouço tectônico. UFRJ, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado 101p.
- EMPERAIRE, Laure. La caatinga du sud-est du Piauí (Bresil) estude etnonobotanique. Paris: Universite Pierre at Marie Curie, 1989.
- FIGUEIREDO, A.M. & RAJA-GABAGLIA, G.P. 1986. Sistema classificatório aplicado às bacias sedimentares brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 16(4): 350-369.
- FUÉRTES-GUTIÉRREZ I., FERNÁNDEZ-MARTINEZ E. Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): a tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*, 2:57-75, 2010.
- FUERTES-GUTIÉRREZ, I., GARCÍA-ORTIZ, E. & FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E. 2016. Anthropic threats to geological heritage: characterization and management: a case study in the dinosaur tracksites of La Rioja (Spain). *Geoheritage*, 8: 135-153.
- GUERRA, A. T.; TEIXEIRA GUERRA, A. J. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.
- GÓES A.M.O & FEIJÓ F.J. 1994. Província Parnaíba. B. Geoci. Petrobrás (8):57-67.

- GÓES A.M.O, TRAVASSOS W.A.S, NUNES K.C. 1993. Projeto Parnaíba: Reavaliação da Bacia e Perspectivas Exploratórias. Belém – PA, 106 p.
- GÓES A.M.O., SOUZA J.M.P., TEIXEIRA L.B. 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. Boi Geoc. PETROBRÁS,4(l):55-64.
- GÓES, Adison Marinho de Oliveira; FEIJO, Flávio J. Província Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 57-67, jan./mar. 1994.
- GRAY, J.M. Geodiversity — Valuing and Conserving Abiotic Nature. New York: John Wiley and Sons, 2004.
- GUERIN , C; FAURE, M. 2004. Scelidodon piauiense nov. sp., nouveau Mylodontidae Scelidotherriinae (Mammalia, Xenarthra) du Quaternaire de la région de parc antional Serra da Capivara (Piauí, Brésil). C. R. Palevol, v. 3. P. 35-42.
- GUERIN , C; FAURE, M; SIMÕES, P. R; HUGUENEY, M; MOURER-CHAUVIRE. C. 2002. Toca da janela da Barra do Antonião, São Raimundo Nonato, PI. In: SCHOBENHAUS, Carlos (Ed.) et al. Local de interesse geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: DNPM; CPRM; SIGEP, 2002. v. 1, p.131-137.
- GUÉRIN, C. FAURE, M. SIMÕES, P.R. HUGUENEY, M. MOURER-CHAUVIRE, C. Toca da Janela da Barra do Antonião São Raimundo Nonato, PI: Rica Fauna pleistocênica e registro da Pré-história brasileira. 1999. Disponível em <http://sigep.cprm.gov.br/sitio069/sitio069.pdf>. Acessado em Junho 2023.
- GUERRA, A. T.; TEIXEIRA GUERRA, A. J. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.
- GUIDO, N; DELIBRIAS, G. 1986. Carbon-14 dates point to man in the Americas 32,000 years ago. Nature, v. 321, p. 768-771.
- GUIDON et al. Relatório CNPq 2002 – PRONEX/FUMDHAM, 2002. P. 11-12.
- GUIDON, N; VIDAL, I. A; BUCO, C. de A; LA SALVIA, E. S; FELICE, G. D; PINHEIRO, P. “Notas sobre a Pré-História do PNSC”. IN: FUNDAMENTOS, vol. II, p.107-141, 2002.
- GUIDON, N. 2006. Pedra Furada: uma revisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL O POVOAMENTO DAS AMÉRICAS. 2, 2006, São Raimundo Nonato. Artigos e resumos. São Raimundo Nonato: Fundação Museu do Homem Americano, p. 1-8. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. Anais.
- HASUI, Y.; ABREU, F. A. M.; VILLAS, R. N. N. (1984) Província Parnaíba. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. (coords.) O Pré-Cambriano no Brasil. São Paulo, Edgard Blücher, p. 36-45.
- IBAMA. Plano de Manejo do Parque Nacional Serra da Capivara. Brasília: 1991.
- KEGEL W. 1953. Contribuição para o estudo do Devoniano da Província Parnaíba. Rio de Janeiro, DNPM/ Divisão e Geologia e Mineralogia, Bolletim nº141, 58 p.
- KUZLER, Josiane & MACHADO, Deusana. Fósseis e patrimônio paleontológico: um retorno ao integral. Museologia e Patrimônio - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio - Unirio | MAST – vol.12, no2, 2019, P:64-96.
- LA SALVIA, ELIANY SALAROLI. 2006. A reconstituição da paisagem da paleomicro Bacia do Antonião e a sua ocupação pelo homem no pleistoceno, Recife. Tese de Doutorado.
- LIMA E.A.A. & LEITE J.F. 1978. Projeto estudo global dos recursos minerais da Província Parnaíba: Integração geológica-metalogenética – Relatório final da etapa III. Recife, PE, MME/DNPM/CPRM, 1978, 437 p.
- Lima Filho, M. F. ; Valença, L. M. M ; Mabesoone, J. M. ; Neumann, V. H. L. 2003. Sedimentary Geology of Serra da Capivara National Park (Piauí-Brazil). In: LATINOAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3., 2003, Belém, PA. Abstracts... Belém, PA, 2003. p. 187-188.
- MACÊDO, R. J. A. de; SANTOS, J. C. Dos; SURYA, L. Modelagem da erosão hídrica potencial no PNSC, Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia. 2021, v. 22, n. 4; (Out-Dez) DOI: 10.20502/rbg.v22i4.1942.

- MAINGUET, M. Le modele de grés: problèmes generaux. Paris: I.G.N, 1972. Tome I. e II. 657 p.
- Marco de Sendai. 2015. Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015- 2030. Disponibilizado no site https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf%5B1%5D.pdf. Acessado em 08.05.2023
- MARINI O.J., FUCK R.A., DARDENNE M.A. & DANNI J.M.C In: ALMEIDA F.F.M. & HASUI, Y. (coord). O Pré-Cambriano no Brasil. São Paulo, SP. Ed. Edgard Blücher, 1984, 205-264 pp.
- MELO, P. P. 2004. A transição Pleistoceno/Holoceno e a conservação dos vestígios arqueológicos no PNSC – Piauí – BR: um estudo comparativo entre o Local de interesse geológico do Meio, Toca do Boqueirão da Pedra Furada e a Toca do Perna I. Tese (Doutorado em História), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- MESNER J.C & WOOLDRIDGELC.P. 1964. Maranhão Paleozoic basin and cretaceous coastal basins, north Brasil. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, (48):1475-1512.
- MESNER J.C & WOOLDRIDGEL.C.P. 1962. The Maranhão study revision. Belém, PA, petrobrás/denor, 1962 (relatório interno).
- MESNER J.C & WOOLDRIDGELC.P. 1964. Maranhão Paleozoic basin and cretaceous coastal basins, north Brasil. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, (48):1475-1512.
- MUTZENBERG, D. S.; CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; CISNEIROS, D. Serra Da Capivara National Park: Ruinform Landscapes on The Parnaiba Cuesta. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. (org.). Landscapes and Landforms of Brazil. Springer Netherland, 2015. p. 243-263.
- NUNES A.B. et al. 1973b. Geologia da Folha SA.23 Teresina e parte da Folha Fortaleza SA.24. Rio de Janeiro, RJ, , DNPM, 1973 b, (PROJETO RADAM).
- OLIVEIRA, M. E. A. et al. Flora e fitossociologia de uma área de transição carrasco-caatinga de areia em Padre Marcos, Piauí. Naturalia, v. 22, p. 131-150, 1997.
- OLIVEIRA, M. A. de; ANDRETTA, E. R; OLIVEIRA FILHO, I. B. de; MARMOS, J. L; SOUSA, A. G. H. de. Avaliação geotécnica nos atrativos geoturísticos de Presidente Figueiredo, AM. 2022.
- OLIVEIRA FILHO, I. B. de; BARROS, J. S.; DIAS, G. P. Avaliações Geotécnicas em Atrativos Geoturísticos, Fernando de Noronha, PE, 2023
- OSTANELLO, M. C. P.; DANDERFER, A. & CASTRO, P. T. A; Caracterização de Lugares de Interesse Geológico e Trilhas Geoturísticas no Parque Estadual do Itacolomi – Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais. Revista Geociências, 32(2): 286- 297, 2013.
- PEDRAZZI, A. C.; CUNHA, F. L. B.; DIAS, R. Avaliação Geotécnica da Região dos Cânions do Xingó. Serviço Geológico do Brasil, 2022, 96p.
- PELLERIN, Joel. “Les Bases Physiques. “ In: Guido, N. (org.). L’AIRE ARCHÉOLOGIQUE DU SUD-EST DU PIAUÍ. Ed. Recherche sur les Civilisations, Paris, p.11-12, 1984.
- PENTEADO, M. M. Fundamentos de Geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE.
- PESSIS, Anne-Marie. Imagens da Pré-História. PNSC. Images de la Prehistpire; Images from Pre-History. FUMDHAM; PETROBRAS, 2003.
- PLUMMER, Frederick B. Estados do Maranhão e Piauí: relatório 1946. [S.l.]: Conselho Nacional do Petroleo, 1948. p. 87-134.
- QUADROS L.P. 1982. Distribuição bioestratigráfica dos Chitinozoa e Acritarchae na Província Parnaíba – Rio de Janeiro, R.J. PETROBRÁS/CEMPES/SINTEP, 1982, - Tese de Mestrado. (Série Ciência-técnica-petróleo. Seção: Exploração de Petróleo (12), 76 p.
- RATTER, J. A.; DARGIE, T. C. D. An analysis of the floristic composition of 26 cerrado areas in Brazil. Edinburgh Journal of Botany, v. 49, p. 235-250, 1992.

- RODET, J. As zonas cársticas de São Raimundo Nonato (Piauí, Brasil). *O Carste*, Belo Horizonte, v. 9, n.1, p. 2-7, 1997.
- RODRIGUES R. 1967. Estudo sedimentológico e estratigráfico dos depósitos silurianos e devonianos da Província Parnaíba. Belém/PA, PETROBRÁS/DENOR, 1967 (relatório interno) 48 p.
- ROSSETI, D.F., GÓES, A. M. & TRUCKENBRODT, W. 2001. O cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú. Belém, Museu Emílio Goeldi, 246p.
- SAADI, Allaoua. Neotectônica da plataforma brasileira: Esboço e interpretação preliminares. *Revista Geonomos* · February, 2013.
- SAADI, A; BEZERRA, F.H.R; COSTA, F.D; IGREJA, H.L.S; FRANZINELLI, E. Neotectônica da plataforma Brasileira. In: Quaternário do Brasil. Holos Editora. São Paulo 2005.
- SANTOS, G. M; BIRD, M. I; PARENTI, F; FIFIELD, L. K; GUIDON, N; HAUS-LADEN, P. A., 2003. A revised chronology of the lowest OCCUPATION LAYER OF Pedra Furada Rock Shelter, Piauí, Brazil: the Pleistocene peopling of the Americas. *Quaternary Science Reviews*, v. 22, p. 2303-2310.
- SANTOS, J. C. O quaternário no PNSC, Piauí, Brasil: morfoestratigrafia, sedimentologia, geocronologia e paleoambientes. Tese (Doutorado) programa de Pós-graduação em Geociência da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007. São Paulo, SBG. v.3, p.113-122.
- SARMIENTO, Guillermo. Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas. *Journal of Vegetation Science*, Washington, v. 3, p.325-326, 1992.
- SARMIENTO, Guillermo; MONASTERIO, Maximina. Ecología de las sabanas de America Tropical: Analisis macroecológica de los llanos de Calabozo. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 1971. 126 p. (Cuadernos Geográficos, 4).
- SCHOBENHAUS FILHO C. 1975. Carta geológica do Brasil ao Milionésio – Folha Tocantins (SC.22). DNPM-DGM, Brasília, 57 p.
- SILVA, L. F. M.; KUHLMANN, L. G.; RIBEIRO, L. M. A. L.; Avaliação geotécnica nos atrativos turísticos no Parque Nacional da Serra da Canastra: São Roque de Minas e Delfinópolis, MG. Serviço Geológico do Brasil, 2022.
- SMALL, Horatio L. Geologia e suprimento de água subterrânea no Ceará e parte do Piauí. *Boletim da Inspetoria de Obras Contra as Secas*, Rio de Janeiro, v. 25, p. 1-85, 1914.
- SOARES, Paulo Cesar. Tectonic Cycles and Sedimentary Sequences in the Brazilian Intracratonic Basins. *Geological Society of America Bulletin*, New York, v. 89, n.2, p. 181- 191, Feb. 1978.
- SUGUIO, K. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- SUGUIO, K. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado + presente = futuro?. São Paulo: Paulo's Comunicações e Artes Gráficas; 1999, 366 p.
- VALERIANO, C.M. (et al.); Geologia e Recursos Minerais da Folha Baía de Guanabara SF-23-Z-B-IV, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000; Belo Horizonte, CPRM, Programa Geologia do Brasil, 2012, 156p; Mapa Geológico, escala 1:100.000; série Geologia do Brasil, versão digital em CD-ROM, textos e mapas
- VARINE, Hugues de. As Raízes do Futuro: O patrimônio a serviço do Desenvolvimento Local. Porto Alegre: Medianiz, 2013.
- VAZ, Pekim Tenório et al. Província Parnaíba. *Boletim de Geociências Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007.
- WIMBLEDON, W.; ANDERSEN, S.; CLEAL, C.J.; COWIE, J.W. Geological world Heritage: GEOSITES - A global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation. *Mem Descrittive Della Carta Geol D'Italia* 54: 45-60. 1999.
- WRAY, R.A.L. Phreatic drainage conduits within quartz sandstone: evidence from the Jurassic Precipice Sandstone, Carnarvon Range, Queensland, Australia. *Geomorphology*, n.110, p. 203–211, 2009.