



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

CLÁUDIO JOSÉ CABRAL

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO, TIPOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS
GEOMORFOLÓGICAS DAS MARMITAS DE DISSOLUÇÃO DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**



Recife

2022

CLÁUDIO JOSÉ CABRAL

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO, TIPOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS
GEOMORFOLÓGICAS DAS MARMITAS DE DISSOLUÇÃO DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em geografia. Área de concentração: regionalização e análise regional.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Rodrigues de Lira

Recife

2022

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Cabral, Cláudio José.

Padrões de distribuição, tipologias e características geomorfológicas das marmitas de dissolução do semiárido pernambucano / Claudio Jose Cabral. - Recife, 2022.

216f.: il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2022.

Orientação: Professor Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa.

Coorientação: Professor Dr. Daniel Rodrigues de Lira.

Inclui referências.

1. Marmitas de dissolução; 2. Rochas cristalinas; 3. Semiárido Pernambucano. I. Corrêa, Professor Dr. Antonio Carlos de Barros. II. Lira, Professor Dr. Daniel Rodrigues de. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CLÁUDIO JOSÉ CABRAL

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO, TIPOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS
GEOMORFOLÓGICAS DAS MARMITAS DE DISSOLUÇÃO DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em geografia. Área de concentração: regionalização e análise regional.

Aprovada em: 25/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa (Orientador – Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Bruno de Azevêdo Cavalcanti Tavares (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Ana Clara Magalhães de Barros (Examinadora Externa)
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Dr. Daniel Rodrigues de Lira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esta tese ao meu filho, Bernardo Henrique Gomes Cabral

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me conceder saúde, força e paciência para enfrentar todas as barreiras que a decisão de ser pesquisador em nosso país traz.

Agradeço a minha companheira de vida, Mylena Cristina Gomes da Silva, por me apoiar nos bons e maus momentos, ao longo das etapas do desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço a minha família por sempre estarem ao meu lado, sobretudo a minha mãe, Josefa Severina de Moura Cabral, que é minha fortaleza e meu pai, Nelson José Cabral, que é uma referência em todos os sentidos. Ambos foram a base para que eu me tornasse o que sou hoje, pessoal e profissionalmente.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa e meu coorientador Prof. Dr. Daniel Rodrigues de Lira pela ajuda, atenção, e disponibilidade, humanidade e profissionalismo, tornando possível a realização desta pesquisa a partir de suas orientações.

Agradeço aos membros do Gequa por todas as colaborações, parcerias e contribuições, em especial nos trabalhos de campo e suporte técnico e sugestões para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE por todo auxílio no decorrer do trabalho.

Ao CNPq que financiou parte deste trabalho.

Por fim, quero agradecer a todos que contribuíram direto e indiretamente para a conclusão de mais esta etapa da minha trajetória pessoal e profissional de forma exitosa.

RESUMO

As marmitas de dissolução são microformas de relevo originadas a partir da correlação entre a dinâmica interna associada aos fenômenos intempéricos e erosivos, que configuram dinâmica processual da paisagem terrestre. Estas formas de relevo estão distribuídas, em sua maioria, nas regiões onde dominam os climas secos (áridos ou semiáridos), onde o regime tectônico-estrutural apresenta marcas de forte estabilidade. Em Pernambuco a ocorrência dessas formas é reportada em 38 municípios, exibindo geometrias e dimensões variadas. A pesquisa buscou compreender quais são os principais fatores condicionantes para a ocorrência dessas microfeições e o seu padrão de distribuição espacial, no contexto do semiárido pernambucano, tomando como referência a investigação de três áreas: Distrito de Fazenda Nova, no município de Brejo da Madre de Deus, Distrito de Conceição das Crioulas e Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, localizados no município de Salgueiro. Para tanto, foi necessário fazer uso de um encadeamento de metodologias e técnicas de investigação que possibilitassem uma maior compreensão acerca da gênese, evolução e fisiologia do objeto de estudo, no contexto das paisagens secas de Pernambuco. A metodologia empregada baseou-se na identificação das áreas de ocorrências de marmitas e descrição das geoformas, a partir da literatura acadêmico-científica, uso de SIGs, imagens de satélites, técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento, análise petrográfica e geoquímica. Tais procedimentos contribuíram para a compreensão da distribuição espacial e os tipos de relevos associados à sua ocorrência. A partir dos dados levantados em campo, processados e analisados em laboratório, foi possível traçar parâmetros indicativos dos fatores endógenos e exógenos envolvidos na gênese de tais formas. Os resultados reafirmam a importância do estudo na busca por uma melhor compreensão das dinâmicas superficial e sub-superficial vigentes nas paisagens secas do Nordeste Brasileiro, nos contextos atual e pretérito, sob a luz de uma abordagem morfoestrutural e morfoclimática.

Palavras-chave: Marmitas de Dissolução; Rochas Cristalinas; Semiárido Pernambucano.

ABSTRACT

The dissolution pans are relief microforms originated from the correlation between the internal dynamics associated with weathering and erosive phenomena, which configure the processual dynamics of the terrestrial landscape. These landforms are mostly distributed in regions dominated by dry climates (arid or semi-arid), where the tectonic-structural regime shows signs of strong instability. In Pernambuco, the occurrence of these forms is reported in 38 municipalities, exhibiting varied geometries and dimensions. In this sense, the main objective of the research is to understand what are the main conditioning factors for the occurrence of these microfeatures and their pattern of spatial organization, in the context of the semi-arid region of Pernambuco, taking as a reference the investigation of three areas: Distrito de Fazenda Nova, in municipality of Brejo da Madre de Deus, District of Conceição das Crioulas and Archaeological Site Lagoa Uri de Cima, located in the municipality of Salgueiro. Therefore, it was necessary to make use of a chain of methodologies and investigation techniques that would allow a greater understanding of the genesis, evolution and physiology of the object of study, in the context of the dry landscapes of Agreste and Sertão de Pernambuco. The methodology used was based on the identification of areas of occurrence of pots and granitic reliefs in academic works, use of GIS, satellite images, remote sensing techniques, geoprocessing, petrographic and geochemical analysis. Such procedures contributed to the understanding of the spatial distribution and the types of granitic reliefs existing in the investigated areas. From the data collected in the field, processed and analyzed in the laboratory, it was possible to trace parameters that serve to indicate the endogenous and exogenous factors involved in the genesis and processes in the formation of such forms. The results reaffirm the importance of the study in the search for a better understanding of the surface and sub-surface dynamics prevailing in the dry landscapes of the Brazilian Northeast, in the current and past contexts, under the light of a morphostructural and morphoclimatic approach , which allows us to understand more I sink the constant relationship on the terrestrial substrate.

Keywords : Dissolution Pans; Crystalline Rocks; Pernambucano Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Microscópio petrográfico usados para identificar as propriedades das amostras do embasamento coletadas em campo.	27
Figura 02	Equipamento EDX.	30
Figura 03	Delimitação do domínio semiárido do estado de Pernambuco segundo o IBGE.	32
Figura 04	Delimitação da área de estudo, município de Brejo da Madre de Deus – PE.	33
Figura 05	Delimitação da área de estudo no contexto do município de Salgueiro – PE, destacando as duas localidades investigadas.	35
Figura 06	Fotografia aérea com o uso de drone, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE.	37
Figura 07	Limite do estado de Pernambuco, inserido no contexto da Província Borborema.	39
Figura 08	Limites da Província Borborema compartimentado em domínios.	40
Figura 09	Esquema dos terrenos tectono-estratigráficos na Zona Transversal da Província Borborema.	42
Figura 10	Mapa esquemático dos terrenos da Zona Transversal, Província Borborema.	43
Figura 11	Compartimentação tectônica do Estado de Pernambuco.	44
Figura 12	Neoproterozóico, Cambriano e Coberturas Fanerozóicas no Estado de Pernambuco.	45
Figura 13	Contexto geológico dos Domínios da Subprovíncia Transversal.	47
Figura 14	Mapa Geológico do entorno da Lagoa Uri de Cima, Salgueiro - PE.	48
Figura 15	Unidades Geológicas nas áreas de estudo no município de Salgueiro – PE.	49
Figura 16	Afloramento de granito porfírico, em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	50
Figura 17	Aspectos texturais do granito pórfiro em Brejo da Madre de Deus – PE.	51
Figura 18	Geologia da bacia Riacho Fazenda Nova, em Brejo da Madre de Deus – PE.	52
Figura 19	Posição altimétrica das marmitas de dissolução em duas localidades do município de Salgueiro – PE. Pág.	53
Figura 20	Província Borborema (Nordeste do Brasil) destacando a localização de tanques fossilíferos estudados (lato sensu), as rochas plutônicas do Brasiliano-Pan Africano e as zonas de cisalhamento.	55
Figura 21	Aspectos do relevo em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE, evidenciando o contexto das serras ao fundo, evidenciando o controle estrutural marcante na área de estudo.	56
Figura 22	Modelo de Pediplanação e Superfícies Escalonadas do Nordeste Brasileiro.	57
Figura 23	Vista geral da Lagoa Uri de Cima, evidenciando alguns dos aspectos geomorfológicos da área.	58
Figura 24	Classes de solos predominantes no contexto da bacia do Riacho Fazenda Velha, onde o Distrito de Fazenda Nova está inserido.	60
Figura 25	Classes de solos predominantes nas bacias do Riacho do Rodeador e Riacho da Barra, no contexto do recorte das áreas de estudo, em Salgueiro – PE.	62
Figura 26	Climatologia da temperatura média anual no semiárido brasileiro para o período de 1981 a 2010.	64
Figura 27	Mapa de precipitação no período de 1961 - 1990 em mm (A), e percentual de dias com déficit hídrico no período 1970 - 1990 em % (B).	65
Figura 28	Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.	66

Figura 29	Imagem de satélite GOES-13 (color) com banda de nuvens relacionadas à ação da ZCIT sobre a região Nordeste do Brasil, no mês de abril de 2016.	67
Figura 30	Imagem de satélite GOES-13 com banda de nuvens ação das Ondas de Leste sobre a porção oriental do Nordeste.	68
Figura 31	Ação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) sobre o Nordeste do Brasil.	69
Figura 32	Ação ZCAS sobre o território brasileiro.	70
Figura 33	Posição da ZCIT nos meses de julho e janeiro, no contexto global.	72
Figura 34	Vegetação no contexto na bacia do Riacho Fazenda Velha, em Brejo da Madre de Deus – PE.	77
Figura 35	Aspectos da vegetação de caatinga arbustiva densa, com presença de cactáceas, bromeliáceas e plantas lenhosas, na localidade de Fazenda Nova em Brejo da Madre de Deus.	81
Figura 36	Vegetação no contexto das bacias do Riacho da Barra e Riacho do Rodeador, Salgueiro – PE.	84
Figura 37	Vegetação de caatinga arbustivas e herbácea, com presença marcante de bromeliáceas e cactáceas, sobre afloramento de granito porfirítico em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	85
Figura 38	Aspectos da vegetação de caatinga hiperxerófita na Lagoa Uri de Cima.	86
Figura 39	As bacias hidrográficas do território de Pernambuco.	87
Figura 40	Bacia hidrográfica do rio Capibaribe.	89
Figura 41	Esboço da hidrografia da área de Fazenda Nova evidenciando as inflexões em ângulo reto ou drenagem retangular.	90
Figura 42	Localização da Bacia Hidrográfica Terra Nova – PE.	91
Figura 43	Esquema mostrando a relação entre o contexto das falhas e a geração de marmitas em rochas que afloram à superfície.	95
Figura 44	Marmitas incipientes associadas ao faturamento das rochas, em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	95
Figura 45	Diferentes tipos de intemperismo atuando sobre as rochas expostas à atmosfera.	96
Figura 46	Líquen em granitoides no Monte das Tabocas, Vitória de Santo Antão – PE.	98
Figura 47	Compartimentação morfoestrutural do Planalto da Borborema.	101
Figura 48	Hipsometria do estado de Pernambuco, com destaque para os pontos amarelos evidenciando as marmitas de dissolução.	102
Figura 49	Domínios Geomorfológicos do estado de Pernambuco.	103
Figura 50	Transepto perpendicular aos principais trends de falha regionais e o perfil de elevação em com base na posição de marmitas em Fazenda Nova.	104
Figura 51	Ponto 1 - Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.	105
Figura 52	Ponto 2 - Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.	106
Figura 53	Ponto 4 – Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.	107
Figura 54	Ponto 7 – Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.	108
Figura 55	Ponto 13 – Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.	109
Figura 56	Marmita em formação na borda de uma superfície de afloramento em granito pórfiro em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	110
Figura 57	Relevos graníticos nas áreas de estudo no semiárido de Pernambuco.	111
Figura 58	Drenagem na bacia do Riacho Fazenda Velha, Brejo da Madre de Deus.	112

Figura 59	Geologia de um recorte da região nordeste, destacando pontos de marmitas de dissolução no estado de Pernambuco.	118
Figura 60	Mapa de declividade do terreno da bacia do Riacho Fazenda Velha, onde Brejo da Madre de Deus está inserido.	119
Figura 61	Hipsometria na área do Distrito de Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE, destacando as marmitas representadas por triângulos pretos.	120
Figura 62	Mapa de declividade da bacia, destacando as duas áreas de estudo no município de Salgueiro – PE.	121
Figura 63	Mapa hipsométrico da localidade no entorno da Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro – PE, com enfoque na posição das marmitas em relação à topografia.	122
Figura 64	Compartimentação morfoestrutural do Planalto da Borborema.	124
Figura 65	Hipsometria do estado de Pernambuco, com destaque para os pontos amarelos evidenciando as marmitas de dissolução.	125
Figura 66	Domínios Geomorfológicos do estado de Pernambuco.	126
Figura 67	Distribuição das marmitas de dissolução em Brejo da Madre de Deus e a compartimentação de relevo local.	128
Figura 68	Distribuição das marmitas de dissolução no Distrito de Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE, e o contexto do relevo.	129
Figura 69	Distribuição das marmitas de dissolução no Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima e seu entorno, em Salgueiro – PE, e a compartimentação do relevo.	129
Figura 70	Distribuição global de inselbergs (representados por triângulos) e colinas rochosas em forma abobadada (círculos).	132
Figura 71	Inselbergues – Brejo da Madre de Deus – PE.	134
Figura 72	Exemplos de feições do tipo Tors em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro – PE.	134
Figura 73	Esquema gráfico sobre os estágios de formação de feições do tipo Tors.	135
Figura 74	a) Boulders às margens de um canal fluvial na localidade do Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima; b) Boulders no entorno da Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro – PE.	136
Figura 75	Blocos ou matacões em inselbergues em Brejo da Madre de Deus – PE.	137
Figura 76	Esquema gráfico sobre a formação de blocos ou matacões.	139
Figura 77	Esquema com a sequência evolutiva baseada no colapso de blocos e geração de tafoni.	139
Figura 78	Tafones em afloramento granítico em Brejo da Madre – PE.	141
Figura 79	Feições do tipo Caneluras em afloramentos graníticos no município de Brejo da Madre – PE.	143
Figura 80	Ponto de coleta, AMOSTRA A01_BMD, em Brejo da Madre de Deus – PE.	144
Figura 81	Diagrama QAPF da amostra 01, coletada no Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus – PE.	145
Figura 82	Foto da lâmina petrográfica do Feldspato potássico, amostra 01_BMD,	146

	Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.	
Figura 83	Foto da lâmina petrográfica do plagioclásio, amostra 01_BMD, Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.	147
Figura 84	Fotomicrografia da lâmina petrográfica do plagioclásio, amostra 01_BMD, Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.	148
Figura 85	Fotomicrografia da lâmina petrográfica com ênfase nos minerais máficos, amostra 01_BMD, Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.	150
Figura 86	Tabela periódica da distribuição dos elementos químicos.	151
Figura 87	Figura 87: Pontos de coleta de rochas em afloramentos, nas margens da PE-145, no Distrito de Quati, Brejo da Madre de Deus – PE.	152
Figura 88	Figura 88: Amostra 02, em nível de afloramento, em marmita no município de Brejo da Madre de Deus – PE.	153
Figura 89	Figura 89: Amostra 02, destacando os aspectos da textura da rocha granítica e sua textura.	154
Figura 90	Amostra 03 mostrando o contato entre magmas distintos, destacando o aspecto de escura da amostra.	156
Figura 91	Diagrama QAPF da amostra 02, coletada no Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus – PE.	158
Figura 92	Fotomicrografia da amostra 02, Brejo da Madre de Deus – PE.	159
Figura 93	Fotomicrografia amostra 03, Brejo da Madre de Deus – PE.	162
Figura 94	Pontos de coletas das amostras A04 e A05, próximo a rodovia PE-145, em Brejo da Madre de Deus – PE.	163
Figura 95	Local de coleta da amostra 04, granito porfirítico não alterado em marmita de dissolução em Brejo da Madre de Deus.	164
Figura 96	Xenólito ou enclaves máficos na rocha intrusiva, amostra 04 (granito não alterado), em Brejo da Madre de Deus – PE.	165
Figura 97	Figura 97: Amostra 05, granito porfirítico alterado, com ênfase no contato entre a fase alterada e não alterada, em marmita de dissolução em Brejo da Madre de Deus - PE.	166
Figura 98	Figura 98: Fotomicrografia mostrando os minerais e suas microestruturas, amostra 04, Brejo da Madre de Deus – PE.	167
Figura 99	Figura 99: Fotomicrografia 02: Amostra 04, de afloramento em Brejo da Madre de Deus, mostrando os minerais e suas microestruturas.	168
Figura 100	Figura 100: Fotomicrografia 01: Amostra 05, de afloramento em Brejo da Madre de Deus, mostrando os minerais e suas microestruturas.	169
Figura 101	Figura 101: Fotomicrografia 02 - Amostra 05, de afloramento em Brejo da Madre de Deus, mostrando os minerais e suas microestruturas.	172
Figura 102	Local de coleta amostra 06, Parque das Esculturas Monumentais Nilo Coelho, Brejo da Madre de Deus – PE.	172
Figura 103	Aspectos macroscópicos da amostra de rocha 06, em Brejo da Madre de Deus – PE.	173
Figura 104	Figura 104: mistura de magma félsico com máficos em afloramento de rochas no Parque das Esculturas Nilo Coelho, em Brejo da Madre de Deus – PE.	174
Figura 105	Figura 105: mistura de magma félsico com máficos em afloramento de rochas no Parque das Esculturas Nilo Coelho, em Brejo da Madre de Deus – PE.	174

Figura 106	Série de Goldich: ordem de estabilidade frentes ao intemperismo dos minerais mais comuns. Comparação com a série de cristalização magmática de Bowen.	176
Figura 107	Fotomicrografia amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE.	178
Figura 108	Local de coleta amostras 07 e 08, no Distrito de Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE.	178
Figura 109	Amostra 07 em afloramento (a) e amostra de mão (b), em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	179
Figura 110	Amostra 08 em afloramento (a) e amostra de mão (b), em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	179
Figura 111	Intemperismo físico em rochas do afloramento em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	182
Figura 112	Fotomicrografia Amostra 07, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	185
Figura 113	Aspectos macroscópicos da amostra 09, coletada em Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE.	185
Figura 114	Ponto de coleta da amostra 09, em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	186
Figura 115	Fotomicrografia, amostra 09, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	189
Figura 116	Aspectos da rocha na Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro – PE.	190
Figura 117	Fotomicrografia da amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE.	193
Figura 118	Aspectos texturais das amostras de mão coletadas em diferentes localidades nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro – PE.	195
Figura 119	Figura 119: Tipos de marmitas de dissolução em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro, definidos com base na dimensão das feições.	200

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Distribuição dos elementos maiores e traços.	29
Tabela 02	Dados de precipitação média em mm de Brejo da Madre de Deus e Distrito de Fazenda Nova - PE.	73
Tabela 03	Dados de temperatura e precipitações médias anuais de Salgueiro – PE, no período de 1982 a 2012.	77
Tabela 04	Densidade absoluta das vinte espécies mais comuns, Fazenda Nova.	82
Tabela 05	Semelhança da ocorrência de espécies da flora de Brejo da Madre de Deus em outras áreas de mata serrana.	83
Tabela 06	Topografia, declividade, dimensão e morfologia das marmitas de dissolução em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro – PE.	113
Tabela 07	Composição modal do quartzo-sienito, Amostra 01, Brejo da Madre de Deus – PE.	144
Tabela 08	Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 01_BMD, com base em análise de EDX.	149
Tabelas 09	Composição modal do álcali-feldspato granito, Amostra 02, Brejo.	153
Tabela 10	Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 02_BMD, com base em análise de EDX.	160
Tabela 11	Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 03_BMD, com base em análise de EDX.	161
Tabela 12	Resultados qualitativos e quantitativos dos principais elementos químicos da amostra 04_BMD, com base em análise de EDX.	170
Tabela 13	Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 05_BMD, com base em análise de EDX.	171
Tabela 14	Composição modal da amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE.	175
Tabela 15	Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 06_BMD, com base em análise de EDX.	177
Tabela 16	Composição modal das amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	180
Tabela 17	Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 07, Conceição das Crioulas, com base em análise de EDX.	183
Tabela 18	Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 08, Conceição das Crioulas, com base em análise de EDX.	184
Tabela 19	Tabela 19: Composição modal estimada da amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE.	189
Tabela 20	Tabela 20: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 10, Lagoa Uri de Cima, com base em análise de EDX.	191
Tabela 21	Tabela 21: Principais oxi-hidróxido de ferro e alumínio e argilominerais da crosta.	194
Tabela 22	Elementos químicos mais abundantes em 5 amostras selecionadas (ABMD_01, ABMD_02, ACC_07, ACC_09 e ALU_10), provenientes das três investigas, nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro PE.	196
Tabela 23	Tabela 23: Classificação litogeoquímica das super-suítes e suítes intrusivas do Domínio da Zona Transversal.	198

LISTA DE QUADROS

Quadro 01	As macroformas e microformas desenvolvidas em terreno granítico.	130
Quadro 02	Tipos de marmitas com base na dimensão, em Brejo e Salgueiro – PE.	199

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Climograma de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE.	74
Gráfico 02	Variação média da temperatura do ar em °C para o mês de setembro/1981 para a mata serrana do Bituri e a área de caatinga de Fazenda Nova.	75
Gráfico 03	Variação de temperatura ao longo do ano no município de Salgueiro – PE.	76
Gráfico 04	Climograma do município de Salgueiro – PE.	78
Gráfico 05	Índices Pluviométricos Anuais - Posto Conceição das Crioulas- 1963/1985.	79
Gráfico 06	Pluviosidade média mensal - Posto Conceição das Crioulas - 1963/1985.	79
Gráfico 07	Distribuição das marmitas de dissolução com base na altitude, nas áreas investigadas.	117

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. JUSTIFICATIVA	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 TRABALHO DE CAMPO.....	23
4.2 BASE CARTOGRÁFICA.....	24
4.3 COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS.....	25
4.3.1 Coleta para análise petrográfica	25
4.4.1 Análise petrológica das amostras do embasamento	26
4.4.1.1 Análise macroscópica.....	26
4.4.1.2 Análise microscópica.....	27
4.4.2 Análise geoquímica	28
4.5 ANÁLISE DOS CONDICIONANTES MORFOESTRUTURAIS	30
4.5.1 Abordagem morfoestrutural	30
4.5.2 Caracterização da área de estudo e revisão bibliográfica	31
4.5.2.1 Caracterização da área de estudo.....	32
4.5.2 Contexto geológico.....	38
4.5.2.1 Província Borborema e os aspectos geológicos do Estado de Pernambuco	39
4.5.2.2 Domínio Transversal	41
4.5.2.3 Magmatismo na Zona Transversal	45
4.5.2.4 Geologia da área de estudo nos municípios de Salgueiro e Brejo da Madre de Deus - PE	47
4.5.2.4.1 Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, Salgueiro - PE.....	47
4.5.2.4.2 Conceição das Crioulas	49
4.5.2.4.3 Aspectos da geologia de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus - PE	49
4.5.3 Contexto geomorfológico.....	53
4.5.3.1 Relevo em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE	56
4.5.3.2 Relevo em Conceição das Crioulas	58
4.5.3.3 Relevo da Lagoa Uri de Cima e seu entorno	59
4.5.4 Contexto pedológico.....	60
4.5.4.1 Pedologia do Distrito de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus - PE	61
4.5.4.2 Pedologia do Distrito de Conceição das Crioulas, Salgueiro - PE	63
4.5.4.3 Pedologia da Lagoa Uri de Cima e seu entorno, Salgueiro - PE	64
4.5.5 Contexto climático.....	65
4.5.5.1 Aspectos gerais do clima da região Nordeste.....	65
4.5.5.2 Aspectos do clima em Fazenda Nova.....	74
4.5.5.3 Aspectos do clima em Conceição das Crioulas e Lagoa Uri de Cima	76
4.5.6 Contexto fitogeográfico.....	81

4.5.6.1 Aspectos da vegetação de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE	81
4.5.6.2 Vegetação de Conceição das Crioulas e Lagoa Uri de Cima, Salgueiro - PE.....	85
4.5.7 Aspectos hidrográficos e os padrões de drenagem local	88
4.5.7.1 Contexto hidrográfico de Fazenda Nova	89
4.5.7.2 Padrões hidrográficos no contexto da Lagoa Uri de Cima e Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.	91
4.5.8 Marmitas de dissolução: conceito, gênese e classificação	93
4.5.8.1 Condicionantes físicos para a gênese das marmitas de dissolução	94
4.5.8.2 Influência da litologia.....	95
4.5.8.3 Fatores tectônicos e estruturais.....	95
4.5.8.4 A ação do intemperismo	97
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
5.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS MORFOESTRUTURAIS	100
5.1.1 Análise do contexto morfoestrutural e sua influência na gênese e distribuição das marmitas de dissolução.....	101
5.1.2 Análise das estruturas geológicas	101
5.1.3 Análise morfoestrutural	105
5.1.4 Análise morfoestrutural a topografia e a declividade do relevo	112
5.2.5 Distribuição das marmitas em relação à altitude e declividade no município de Brejo da Madre de Deus – PE	117
5.2.6 Distribuição das marmitas em relação à altitude e declividade no município de Salgueiro – PE	119
5.2.7 Distribuição espacial das marmitas e a compartimentação do relevo	122
5.2.7.1 Marmitas de dissolução e a compartimentação de relevo em Brejo da Madre de Deus – PE	127
5.2.7.2 Marmitas de dissolução e a compartimentação de relevo em Salgueiro – PE	128
5.3 RELEVOS GRANÍTICOS EM BREJO DA MADRE DE DEUS E SALGUEIRO - PE	130
5.3.1 Feições graníticas nos municípios de Brejo e Salgueiro – PE.....	131
5.3.1.1 Macroformas graníticas	131
5.3.1.1.1 Inselbergues	131
5.3.1.1.2 Microformas graníticas.....	133
5.3.1.1.2.1 <i>Tors</i>	133
5.3.1.1.2.2 <i>Boulders</i>	134
5.3.1.1.2.3 Blocos ou Matacões.....	135
5.3.1.1.2.4 <i>Tafoni</i>	138
5.3.1.1.2.5 Caneluras	140
5.4 ANÁLISE PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS DO EMBASAMENTO	142
5.4.1 Análise macroscópica - amostra 01, Brejo da Madre de Deus – PE	143
5.4.2 Análise microscópica da amostra 01, em Brejo da Madre de Deus – PE.....	144
5.4.3 Análise geoquímica da amostra 01, em Brejo da Madre de Deus - PE.....	149

5.4.4 Análise macroscópica - amostras 02 e 03, Brejo da Madre de Deus – PE	152
5.4.5 Análise microscópica - amostra 02 e 03, Brejo da Madre de Deus – PE	156
5.4.6 Análise geoquímica das amostras 02 e 03, em Brejo da Madre de Deus – PE	161
5.4.7 Análise macroscópica - amostras 04 e 05, Brejo da Madre de Deus – PE.....	162
5.4.8 Análise microscópica - amostras 04 e 05, Brejo da Madre de Deus – PE.....	166
5.4.9 Análise geoquímica das amostras 04 e 05, Brejo da Madre de Deus – PE	170
5.4.10 Análise macroscópica – amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE.....	172
5.4.11 Análise microscópica - amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE	176
5.4.12 Análise geoquímica da amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE	178
5.4.13 Análise macroscópica – amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE .	179
5.4.14 Análise microscópica - amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE...	181
5.4.15 Análise geoquímica das amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE .	185
5.4.16 Análise macroscópica – amostra 09, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.....	186
5.4.17 Análise microscópica - amostra 09, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE	187
5.4.18 Análise geoquímica - amostra 09, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.....	190
5.4.19 Análise macroscópica amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE.....	191
5.4.20 Análise microscópica, amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE	192
5.4.21 Análise geoquímica - amostra 10, Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE	195
5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PETROGRAFIA, MINERALOGIA E	
GEOQUÍMICA DAS AMOSTRAS DE ROCHAS DO EMBASAMENTO	196
5.6 CLASSIFICAÇÃO DAS MARMITAS DE DISSOLUÇÃO EM BREJO DA MADRE	
DE DEUS E SALGUEIRO - PE.....	200
5.6.1 Classificação das marmitas de Brejo e Salgueiro – PE, com base na litologia	200
5.6.2 Classificação com base nas dimensões.....	201
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	203
REFERÊNCIAS	204

1. INTRODUÇÃO

O entendimento acerca do relevo terrestre faz-se imprescindível para a sociedade por se tratar do substrato onde se processa as atividades antropogênicas, sendo um dos atributos determinantes da ocupação, construção e reconstrução do espaço ao longo do tempo, além de ser de suma relevância para a gestão territorial. Esta ideia se casa com o que Kohler (2002) afirma ao agregar a categoria escala na análise geomorfológica, em especial a relação dialética espaço-tempo. Por isso o estudo das formas de relevo, sua gênese e evolução devem ser analisados no tempo e em suas relações dentro do espaço, de forma integrada com os outros atributos naturais e humanos (JOLLY, 1977).

Um dos maiores desafios da geomorfologia é tentar entender a evolução do modelado terrestre e sua gama de formas distintas. Por isso, surge a necessidade de classificar as formas em grupos. As formas do relevo terrestre são resultantes de duas forças antagônicas (endógenas e exógenas) que agem concomitantemente durante todo o processo de sua formação (BIGARELLA, 1975; PENCK, 1953; ROSS, 1991). Por meio desta categorização dos processos formadores do relevo, as feições vão se enquadrar em duas entidades taxonômicas: morfoestruturas e morfoesculturas. As primeiras são decorrentes da imposição de fenômenos desencadeados a partir da dinâmica interna do planeta, tais como o tectonismo, vulcanismo e abalos sísmicos. Já o segundo grupo engloba formas originadas por meio dos processos superficiais (intemperismo, erosão, clima, biota, circulação atmosférica).

As formas de relevo, embora sejam classificadas como citado acima, onde o ponto chave é a natureza dos processos formadores, podem nos surpreender quando sua gênese reside exatamente na intersecção dos dois grupos de fatores geomórficos citados, como é o caso do objeto de estudo desta pesquisa, que são as marmitas dissolução, que constituem depressões fechadas. Muitos especialistas sinalizam que em determinados casos a dinâmica interna e externa atuam concomitantemente na formatação das formas identificadas na paisagem, assim a origem das marmitas, como foi verificado nas áreas de estudo, está atrelada às condições climáticas e predisposição mineralógica e petrográfica às alterações químicas do embasamento adjacente (VIDAL ROMANI & TEMIÑO, 2004).

Sendo assim, o objeto aqui investigado é um típico exemplo da categoria de feição geomorfológica de gênese dupla, uma vez que sua formação perpassa pela ação do intemperismo sobre rochas graníticas que afloram à superfície e ação endógena, criando elementos característicos como as fraturas e falhas que afetam o material litológico (TWIDALE, 1982).

Outra importante informação sobre as marmitas reside no contexto das nomenclaturas adotadas por vários estudiosos para identificá-las: *gnamas*, *weathering pits*, *rock bains*, termos consagrados na literatura internacional; *depressões ou potes de intemperismo* e *cacimbas ou oriçangas*, aplicados *em estudos desenvolvidos no Nordeste Brasileiro* (DOMINGUES, 1952; BIGARELLA, 1994; BARRETO, 2004; SILVA *et al.*, 2017). Tal distinção faz-se em decorrência do entendimento destas microformas por parte de quem se debruça sobre seus estudos, não havendo um consenso definitivo sobre o tema. Aqui optou-se pelo uso da expressão marmita de dissolução, fazendo uma clara referência aos processos atrelados à sua gênese e morfologia.

Em um breve inventário acerca da espacialidade das marmitas, de um modo geral, percebe-se que sua distribuição está estreitamente relacionada ao material litológico aflorante, que na maioria dos casos correspondem à suítes intrusivas de granitóides, e às condições climáticas vigentes no momento de sua formação, que em suma seriam áridas ou semiáridas (BIGARELLA, 1994).

Ainda sobre o que foi dito acima Domingues (1952) discorre:

Para compreender a natureza de tais feições deve-se analisar a estrutura da rocha, clima, topografia, enfim a influência de todos os fatores, que poderiam atuar na formação e evolução de uma marmita, ou seja, analisa-se tanto os aspectos associados à dinâmica interna quanto externa (DOMINGUES, 1952, p. 65).

As referências mais antigas na região sobre o objeto de estudo da pesquisa datam dos séculos XVIII (FERNANDES *et al.*, 2013a) e XIX (CASAL, 1817a, 1817b; SPIX & MARTIUS, 1824; HARTT, 1870). Contudo, as investigações mais detalhadas acerca do tema só se deram a partir da primeira metade do século XX, em virtude de expedições naturalistas realizadas em terras nordestinas, sobretudo no contexto de estudos paleontológicos, por conta da riqueza dos achados fósseis da megafauna pleistocênica dentro dessas formas (BRANNER, 1902, 1915; MORAES, 1924, 1928; MORAES RÊGO, 1926; ALVIM, 1939; DOMINGUES, 1947).

Várias são as definições encontradas para as marmitas de dissolução na literatura internacional e nacional. Uma delas, proposta por Mabessone *et al.* (1990) diz que estas corresponderiam a cavidades naturais encontradas no relevo granítico-gnáissico e, ocasionalmente, em rochas sedimentares.

Ximenes (2006), por sua vez define marmitas como depressões naturais que se formam na superfície de rochas cristalinas de idade Pré-Cambriana, sendo de ocorrência

muito comum na região Nordeste do Brasil. Neste último caso, caso o autor desconsidere a ocorrências em ambientes constituídos essencialmente em litologias tenras, visto a grande maioria das marmitas, já identificadas e estudadas no território nacional e internacional, ocorrerem principalmente sobre formações crustais de litologia ígnea maciça de textura fanerítica e/ou porfirítica.

Há muito estas feições vêm sendo estudadas por vários pesquisadores estrangeiros e brasileiros, sobretudo por conta da sua importância face ao conteúdo sedimentar e fossilífero encontrados. Este fato torna as marmitas um elemento-chave para elucidação da história evolutiva da paisagem geológico-geomorfológica do Nordeste brasileiro, visto que estes testemunhos paleoambientais podem ser encontrados em vários estados da região: Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí e Sergipe (LOBO *et al.*, 2015; WALDHERR *et al.*, 2017), mesmo não sendo formas exclusivas desta região, já que foram evidenciadas em outras partes do país (WALDHERR, 2018).

Sobre sua dimensão e morfologia, as marmitas podem ser algumas vezes bastante profundas, chegando a alguns metros, e, em relação ao pequeno diâmetro parecem gigantescas. Outras vezes as suas dimensões se ampliam, porém, as margens conservam-se sempre íngremes dominando o fundo chato. Neste sentido, é possível afirmar que as marmitas podem variar de alguns centímetros de diâmetro ou até mesmo ultrapassar os mil metros de comprimento, podendo assumir formatos em planta de caráter circular, oval, elíptico e irregular (REED, 1963; OLLIER, 1975; BIGARELLA, 1994; XIMENES, 2003, 2009).

Devido à sua vasta ocorrência na superfície terrestre e sua complexidade no que tange a origem, evolução e significado geológico-geomorfológico, faz-se pertinente realizar o presente estudo, com o intuito de contribuir com a compreensão da distribuição espacial e temporal das marmitas de dissolução no semiárido pernambucano e do Nordeste brasileiro.

2. JUSTIFICATIVA

O estudo sobre marmitas de dissolução, a partir de uma abordagem multidimensional dos condicionantes envolvidos em sua gênese, distribuição, tipologia e dinâmica sedimentológica pode ser entendido como de caráter integrador, na medida em que os trabalhos sobre esse objeto foram pautados, em sua maioria, apenas sobre dois vieses principais: dinâmica paleoclimática, arqueológica e paleontológica ao longo do Quaternário (OLIVEIRA & SANTOS, 1990; PORPINO & SANTOS, 1997; BARRETO *et al.*, 2004;

PORPINO et al., 2004; SILVA, 2007; SILVA et al, 2006; CORREA & SILVA, 2005; MUTZEMBERG et al., 2013).

A presente pesquisa faz uma análise dos condicionantes fisiográficos que participam da formação das marmitas, a partir da busca de elementos que permitam elucidar os padrões de distribuição, as tipologias e contexto da sedimentação com base em questões morfoestruturais, litológicas, morfométricas e morfoclimáticas (TWIDALE, 1982; ROMANÍ & TWIDALE, 1998; CAMPBELL, 1997; MAIA & BEZERRA, 2009; MAIA & NASCIMENTO, 2018; CORRÊA & SILVA, 2005; SILVA, 2007, SILVA et al, 2017).

A investida para o desenvolvimento desta pesquisa foi movida pela carência de tais abordagens acerca de microfeições de relevo abundantes no Nordeste semiárido e no estado de Pernambuco. Outro ponto relevante é o fato de as marmitas terem uma conexão com aspectos relacionados à drenagem irregular semiárida, tendo participação na dinâmica de sedimentação, sendo apontadas por diversos pesquisadores como elementos-chave para a compreensão da dinâmica do relevo, funcionando como geo-arquivos de eventos paleoclimáticos; acumulando sedimentos terrígenos, vasto conteúdo fossilífero e, em muitos casos, funcionando como níveis de base locais. Por fim, este estudo também buscou elaborar uma base de dados acerca dos fatores limitantes para a espacialização destas feições.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo central da pesquisa consiste em identificar e analisar os principais padrões de distribuição, as tipologias e o contexto petrográfico das marmitas de dissolução no semiárido do Pernambuco, tomando como parâmetro três diferentes áreas de ocorrências destas microfeições: o Distrito de Fazenda Nova, em brejo da Madre de Deus – PE; Distrito de Conceição das Crioulas e o Sítio Arqueológico e Paleontológico Lagoa Uri de Cima, localizados no município de Salgueiro – PE.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar espacialmente as áreas de ocorrência das marmitas no semiárido pernambucano com auxílio de imagens de satélites e geoprocessamento;

- Identificar as principais características litológicas (macroscópicas e microscópicas) do embasamento das áreas de ocorrência das marmitas no semiárido de Pernambuco, a fim de determinar a influência litológica na gênese das formas;
- Identificar o padrão de distribuição das marmitas em relação à compartimentação de relevo regional e local, além dos condicionantes morfoestruturais, com base na análise de imagens de satélites e mapas temáticos e informações coletadas em campo;
- Compreender como os aspectos do clima determinam a ocorrência de marmitas nas áreas de estudo, uma vez que os condicionantes climáticos ditam o ritmo e o tipo de intemperismo predominante na área;
- Apontar as principais características morfológicas (dimensões, forma, etc.) das marmitas a partir de sua análise em planta, com base nas imagens de satélites, cartas, e na aquisição de dados de campo;
- Propor uma classificação para as feições graníticas, com base nas marmitas das áreas investigadas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os principais procedimentos metodológicos adotados. Deste modo, serão detalhadas as etapas seguidas desde a realização dos trabalhos de campo, coleta de informações e amostras, além da análise de dados e métodos em laboratório.

4.1 TRABALHO DE CAMPO

Foram realizadas visitas a três áreas do semiárido pernambucano: Distrito de Fazenda Nova, em Brejo da Madre de Deus, Conceição das Crioulas e Sítio Arqueológico e Paleontológico Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro. As áreas foram escolhidas e identificadas previamente pelo fato de apresentarem grande concentração de marmitas de dissolução já bem documentadas na literatura, por meio de várias publicações nacionais e internacionais. Neste contexto, o trabalho foi dividido em dois momentos: em 2018 foi realizado um campo para Brejo da Madre de Deus e em 2019 realizou-se o segundo para as duas áreas selecionadas no município de Salgueiro. Em campo, os procedimentos adotados foram os seguintes:

- Reconhecimento dos aspectos do quadro natural (litologia, relevo, solo, clima, vegetação e hidrografia), para identificar e validar as informações coletadas em

gabinete sobre as características geográficas das áreas, além do exame dos processos superficiais a partir das formas observados em campo. Nesta etapa também foi possível fazer a identificação dos locais de maior ocorrência de marmitas por meio da marcação de pontos no GPS, pontos estes que foram referências para a realização de coleta de sedimentos e amostras de rochas do embasamento;

- Registros fotográficos para identificar elementos das paisagens semiáridas onde as marmitas estão inseridas e as possíveis relações entre os vários atributos do quadro natural. Neste sentido, as evidências verificadas em campo contribuíram para o entendimento da distribuição espacial das marmitas, dimensões, morfologias, o embasamento geológico adjacente, suas estruturas, características petrográficas, deformações visíveis e a sedimentação inserida nestas microformas;
- Coleta de amostras do embasamento destinadas à análise macroscópica e microscópica. Foram coletados fragmentos de rocha fresca seguindo o padrão de dimensão, no qual cada amostra deve apresentar tamanhos superiores a $(3 \times 7 \times 10)$ cm ou equivalente à dimensão aproximada de punho de uma pessoa adulta. Por se tratar de uma porção reduzida de um corpo infinitamente maior, o fragmento selecionado deve apresentar as características essenciais do todo. As amostras foram destinadas ao Laboratório de Ensaio Petrográfico do Departamento de Geologia (CTG 0 UFPE), com as informações prévias dos pontos de coletas. A análise petrográfica visou fornecer os seguintes elementos característicos: composição mineralógica, estado de alteração dos elementos mineralógicos constituintes, textura, classificação, entre outros;

4.2 BASE CARTOGRÁFICA

Foram confeccionados mapas temáticos, que serviram de subsídio para um melhor conhecimento e representação das áreas de estudo, objetivando caracterizar seus aspectos geoambientais. A confecção da base cartográfica foi realizada a partir do uso de SIGs, imagens de satélites, técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Todo processamento foi realizado no software ArcGis 10.1 nas dependências do Laboratório de Geomorfologia do Quaternário da UFPE. As etapas envolvidas neste processo foram as seguintes:

- Para a confecção dos mapas de localização das áreas de estudo, hipsometria, pedologia, geologia, declividade foram utilizadas imagens ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros, no formato TIFF, disponibilizado pela National Aeronautics and Space Administration - NASA de forma gratuita. Os derivados dos modelos foram trabalhados em ambiente SIG, Processados em Software ArcGIS;
- Para as Unidades Geológicas foi utilizado a base cartográfica da Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais (CPRM, 2005), na escala de 1:100.000;
- Para as unidades pedológicas utilizou-se a base de dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE – EMBRAPA, 2006); para a definição das classes de solo seguiu-se o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013), e para as convenções de cores no sistema RGB utilizou-se o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015), na escala de 1:250.000;
- Os mapas de domínios vegetais foram confeccionados com base em nas tabelas de informações disponibilizadas até a versão 2017 no formato mdb, agora estão disponíveis para download na plataforma <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#!/consulta/vegetacao> (Aba Exportar, menu Dados Tabulares).
- A pasta “**recorte_milionésimo**” que continha o mapeamento em arquivos separados por Folhas ao Milionésimo (FCIM) não é mais disponibilizada neste recorte a partir de 2018. Será disponibilizado apenas o recorte Brasil com o atributo referente à Folha que vincula aos respectivos metadados, além da versão 2019 do arquivo vetorial Brasil_vege_area.shp e suas atualizações, com a inclusão dos limites da área Core da Floresta Estacional Sempre-verde (Floresta Estacional Perenifólia); ajustes do deslocamento em partes das regiões Norte e Nordeste; atualização de alguns polígonos/legendas (no escopo do projeto Biomas 1:250.000); inserção dos campos “Leg1_id”, “Leg2_id”, “Cd_leg_2”; e alteração do nome do campo “Fito” para “Legenda_1”.

4.3 COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

4.3.1 Coleta para análise petrográfica

A coleta de amostras de rocha para análise petrográfica (macro e microscópica) se deu nas áreas de ocorrência das marmitas, nos municípios selecionados, em diferentes pontos de afloramento do embasamento cristalino. Nestes pontos foram obtidos fragmentos de rochas por meio de uso de marreta. Esses fragmentos foram obtidos com dimensão não inferiores a (3x7x10) cm, para que assim as amostras fossem realmente representativas, respeitando a metodologia de coleta: retiradas do interior dos afloramentos e, pelo menos, 20 cm abaixo da superfície da rocha viva (SGARBI, 2012; MENEZES, 2013).

Quando se tratar de uma zona de contato entre rochas diferentes, devem ser colhidas tantas quantas forem necessárias para a caracterização de cada uma das rochas. Esses fragmentos devem depois ser quebrados até pedaços não menores de (8x10x12) cm, para facilitar sua manipulação. É importante mencionar que os fragmentos que não estejam sãos ou apresentem fissuras devem ser descartados.

4.4.1 Análise petrológica das amostras do embasamento

A análise das rochas fornece informações sobre a natureza, mineralogia e classificação, com ênfase nas propriedades, estruturas e feições. A partir de tal análise é possível tecer hipóteses sobre a gênese das marmitas de dissolução com base em seu arcabouço rochoso. Neste sentido, procedeu-se com as análises das rochas do embasamento no contexto macro e microscópico.

4.4.1.1 Análise macroscópica

A análise macroscópica é feita com base em metodologias específicas, por meio dos padrões macroscópicos apresentadas pelas amostras de rochas a olho nu ou com auxílio de uma lupa. Neste sentido, é possível identificar características como a cor, textura, estruturas e a mineralogia, sobretudo quando a rocha apresenta textura fanerítica e/ou porfirítica, o que possibilita a visualização a olho nu em afloramentos ou em amostras de mão. A mineralogia nos dá a proporção dos minerais que compõem a rocha, enquanto a textura indica o tamanho e forma em que os minerais estão unidos (PRESS et al, 2006).

Análises da petrografia das rochas no contexto macro, podem fornecer informações sobre sua possível origem, os processos que determinam sua formação e o seu desenvolvimento ao longo do tempo geológico. Para a realização desta etapa levou-se em consideração alguns manuais de identificação de minerais e rochas, já consagrados e

amplamente divulgados no meio acadêmico (DANA & HURLBUT, 1981; KLEIN & DUTROW, 2011; SGARBI, 2012; MENEZES, 2013).

4.4.1.2 Análise microscópica

Esta etapa consiste na análise de fragmentos delgados de rochas para identificar as suas características, por meio do reconhecimento dos minerais e suas alterações, deformações, microfissuramento e outras feições que estejam condicionando as deteriorações detectadas na rocha estudada. Este tipo de análise fundamenta-se na observação de seções delgadas das amostras (lâminas), estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida. Para tanto, fez-se necessário o uso de microscópio petrográfico (Figura 01), instrumento utilizado para análise detalhada das rochas e minerais, por meio da ampliação do objeto observado em até 400 vezes. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Petrologia, do Departamento de Geologia (CTG - UFPE).

Figura 01: Microscópio petrográfico usados para identificar as propriedades das amostras do embasamento cristalino das áreas estudadas.



Fonte: acervo do autor, 2021.

A descrição dos minerais presentes nas amostras de rochas baseou em DANA & HULRBUT (1978), que classificam estes agregados naturais a partir de sua composição química, em seu componente aniônico maior. Cada grupo de minerais possui normalmente um grupo aniônico comum a todos os seus membros. Desta forma os minerais podem ser classificados em doze (12) classes diferentes. Para a caracterização das rochas ígneas, principal classe identificada em campo, tomou-se como parâmetro os diagramas QAPF (Q quartzo; A feldspato alcalino; P plagioclásio; e F feldspatóide) concebidos por STRECKEISEN (1967), que classificam as rochas de acordo com sua composição ou contagem modal. Quanto a este ponto, o intuito é estabelecer uma análise quantitativa por estimativa visual a partir de uma matriz milimetrada.

A análise petrográfica trata-se da identificação mineral por meio de análises microscópicas. As amostras de rochas são submetidas a laminação gerando lâminas delgadas ou seções polidas que serão analisados posteriormente em microscópios petrográficos. A partir daí é imprescindível identificar na amostra a melhor faixa amostral para a confecção dos resultados esperados a partir de análise em laboratório.

4.4.2 Análise geoquímica

As amostras de rochas do embasamento e sedimentos das marmitas foram processadas em laboratório para o reconhecimento de sua composição química. Tal reconhecimento foi possível a partir da análise geoquímica com base na Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), e teve como objetivo compreender quais seriam os elementos químicos constituintes das rochas, para correlacionar com os dados petrográficos e assim entender mais sobre as reações químicas que se processam na superfície das rochas e no contexto dos minerais, que poderiam favorecer ou acelerar o intemperismo. No tocante às amostras de sedimentos, o intuito seria identificar as possíveis origens das áreas fonte dos detritos, para compreender a dinâmica de processos geomorfológicos, transporte e deposição, possibilitando inclusive, reconhecer a origem e as alterações sofridas pelo material ao longo do tempo formativo (CRUZ, 2006).

A técnica da Espectrometria de Fluorescência por Raios-X (XRF–X-Ray Fluorescence), consiste na identificação dos elementos componentes em certos materiais, por meio de técnica não destrutiva prestando-se à análise mais elaborada e precisa da composição de materiais, voltada a diversas finalidades. Para Stosnach (2005) a fluorescência de raios-X é

uma técnica relativamente nova que pode determinar rápida e simultaneamente a concentração de muitos elementos da tabela periódica.

Neste sentido, vale ressaltar que o emprego deste método de análise pode ter fins qualitativos ou quantitativos e se baseia na medição das intensidades dos raios-X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais utilizado que é através de tubos de raios-X (MELO JÚNIOR, 2007).

Ainda sobre esta técnica, Jenkins et al. (1995) afirma que os métodos traçados pela Fluorescência de Raios-X são simples e amplamente divulgados no cenário científico. Segundo este autor é possível induzir transições eletrônicas entre as órbitas mais internas dos átomos utilizando radiações eletromagnéticas de energia adequada (raios X e raios gama). Essas transições podem resultar na emissão de radiações X de energia característica que permitem a identificação da espécie atômica envolvida na transição e a mensuração da sua ocorrência em determinada amostra.

No tocante ao contexto da sedimentação, essa técnica auxilia no entendimento da provável origem dos depósitos por meio da análise do conjunto dos elementos maiores e dos elementos traços (tabela 01) presentes nas amostras, considerando como materiais transportados aqueles cujas assinaturas geoquímicas defiram em certos aspectos da rocha sobre a qual estão assentados, como já foi demonstrado por vários autores (CRUZ, 2006; LIRA, 2014, TAVARES, 2015, FONSÊCA, 2018).

Tabela 01: Distribuição dos elementos maiores e traços.

Elementos Maiores	Elementos Traço
Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti e P	Zr, Ba, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, S, Sr, V, Zn

Fonte: Adaptado de Butt et al, 2000.

Foram encaminhadas 21 amostras para realização de análise por fluorescência, sendo 10 amostras do embasamento das localidades investigadas e 11 de sedimentos do interior das marmitas. Os procedimentos desta etapa foram realizados no laboratório de geomorfologia do Quaternário, na Universidade Federal de Pernambuco. No procedimento necessário para a confecção da análise, foi separado inicialmente em torno de 10g de cada amostra, colocado em recipientes específicos posteriormente postos no equipamento de modelo EDX – 720, o

mesmo teve a câmara refrigerada com nitrogênio líquido procedimento necessário, antes e durante a análise de espectrometria (Figura 02).

Figura 02: Equipamento EDX.

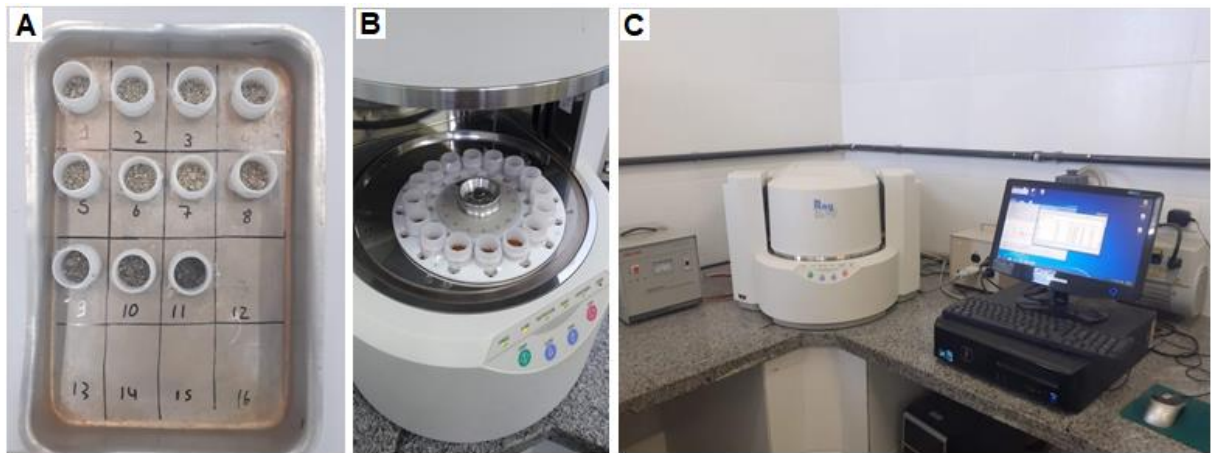


Figura: A - Separação das amostras; B - Câmara de exposição aos raios -X; C - Aparentagem necessária para utilização do equipamento. Fonte: O autor, 2021.

4.5 ANÁLISE DOS CONDICIONATES MORFOESTRUTURAIS

4.5.1 Abordagem morfoestrutural

As morfoestruturas constituem uma tipologia hierárquica de formas, que compreendem desde conjuntos regionais de primeira ordem de grandeza (mega-morfoestruturas) até as menores ordens (micro-morfoestruturas), tais como os grábens e cimeiras em cristas de expressão local. A abordagem sobre o relevo numa perspectiva morfoestrutural não é recente, ela tem suas raízes em estudos desenvolvidos em centros de pesquisas e universidades no Leste Europeu, a partir da década de 1940 (CORRÊA, 2010). Neste contexto, as morfoestruturas passaram a designar os compartimentos de relevo definidos

com base na interação entre distintos litotipos e modos tectônicos vigentes (GERASIMOV, 1946; GERASIMOV & MESCERJAKOV, 1967; DEMEK 1972).

As morfoestruturas ou Domínios Morfoestruturais são grandes conjuntos estruturais, que geram arranjos regionais de relevo, guardando relação de causa entre si, a partir do qual os fatos geomorfológicos serão classificados segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas; até alcançar uma escala de detalhe, na qual seria possível identificar o tipo de modelado do terreno, que corresponderiam a um conjunto de formas presentes na superfície com similitude na morfometria e gênese (Manual Técnico do IBGE, 2009).

Este tipo de abordagem pode ser desenvolvido em diversas escalas espaciais. Para tal, pode-se levar em consideração vários aspectos da morfogênese ou geração das formas existentes na porção superficial da crosta. No caso do Nordeste não é diferente, pois nas últimas décadas as pesquisas em seus limites tem se intensificado, em especial nos domínios semiáridos, onde dados relacionados à evolução geotônica (desde o pré-cambriano até o quaternário), as zonas de cisalhamento, os maciços residuais, cimeiras estruturais, Estruturas em horst e graben, drenagens encaixadas ou capturas por falhas e padrão retangular são alguns indicativos de que a área de estudo sofreu e ainda sofre grande influência dos fatores internos, o que ajuda a explicar os padrões de distribuição das marmitas de dissolução, seja em relação aos tipos de litologias, altitude, topografia, compartimentação e formas de relevo (CORRÊA, 2001; CLAUDINO-SALES, 2002; CORRÊA, 2003; CORRÊA *et al.*, 2010; MAIA *et al.*, 2010; MONTEIRO, 2015; TAVARES, 2015; MAIA e NACIMENTO, 2018).

Neste sentido, serão expostos no capítulo de resultados uma sessão dedicada aos condicionantes da dinâmica interna, que trabalham de forma conjunta e contínua, embora em alguns contextos, em períodos geológicos distintos, para a elaboração e configuração do relevo, e assim compreender os condicionantes morfoestruturais para a distribuição das marmitas.

Para alcançar o objetivo relacionado a abordagem aqui descrita, levou-se em consideração o cruzamento de informações, tais como o auxílio de imagens de satélites, mapas geológicos, mapas topográfico, hipsométricos, drenagens e de compartimentação de relevo (a nível Nordeste, Pernambuco e das localidades municipais) acrescido de transectos topográficos (MEDEIROS, 2004; CORRÊA *et al.*, 2010; MEDEIROS *et al.*, 2010).

4.5.2 Caracterização da área de estudo e revisão bibliográfica

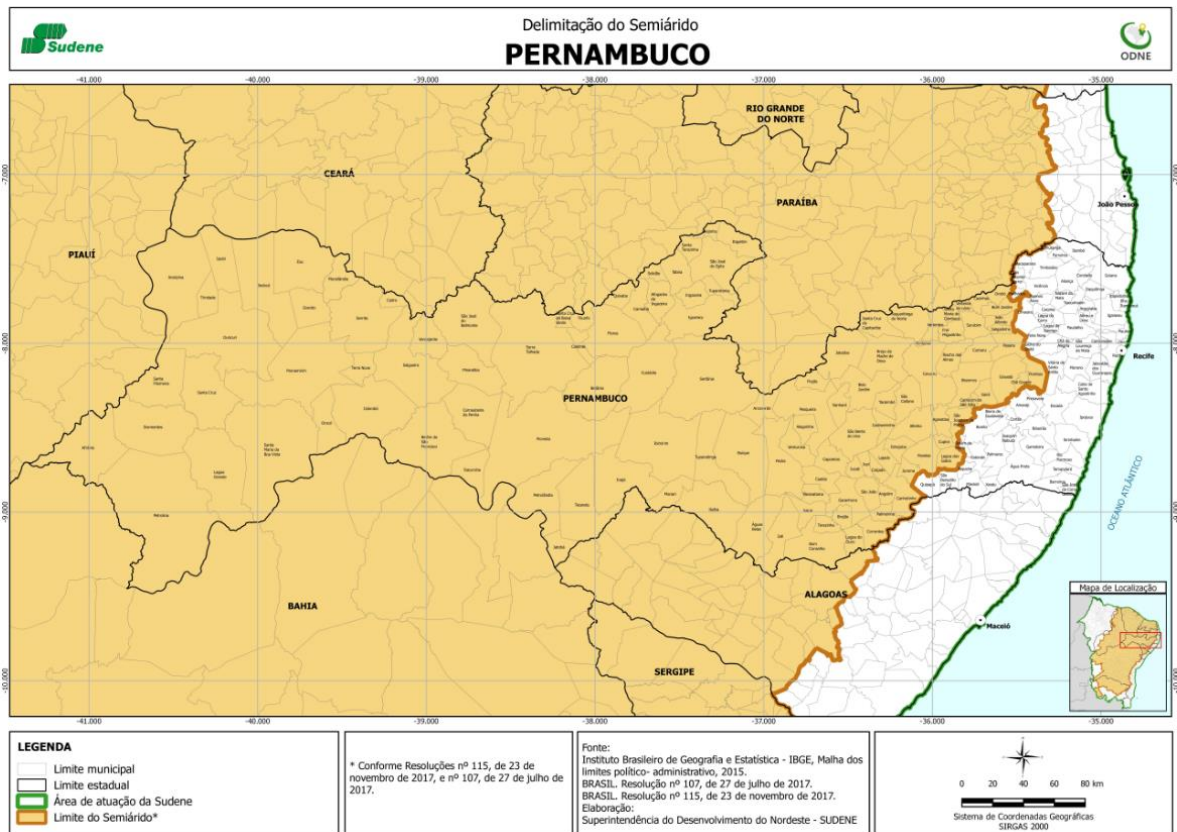
As condições físicas dos ambientes onde as marmitas de dissolução estão inseridas é o foco da abordagem deste capítulo. Aqui o objetivo principal é contextualizar a estrutura das paisagens pernambucanas localizadas no Agreste e Sertão do estado, nas quais se fazem presentes o nosso objeto de estudo.

Desse modo, trataremos aqui dos principais aspectos dos geoestratos que interagem nas diferentes áreas tipo, em diversas escalas espaço-temporais, para configurar a fisionomia do relevo, clima, cobertura vegetal, solo e hidrografia dos ambientes das marmitas em Fazenda Nova (Brejo da Madre de Deus), Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima e Conceição das Crioulas, em Brejo Salgueiro – PE.

4.5.2.1 Caracterização da área de estudo

A presente pesquisa foi desenvolvida dentro dos limites do semiárido pernambucano, área que abrange o Agreste e o Sertão do estado (Figura 03), regiões onde as condições de semiaridez vigentes, alinhadas a outros fatores como a litologia e a estrutura geológica determinam a ocorrência de marmitas de dissolução e depressões fechadas.

Figura 03: Delimitação do domínio semiárido do estado de Pernambuco segundo o IBGE.

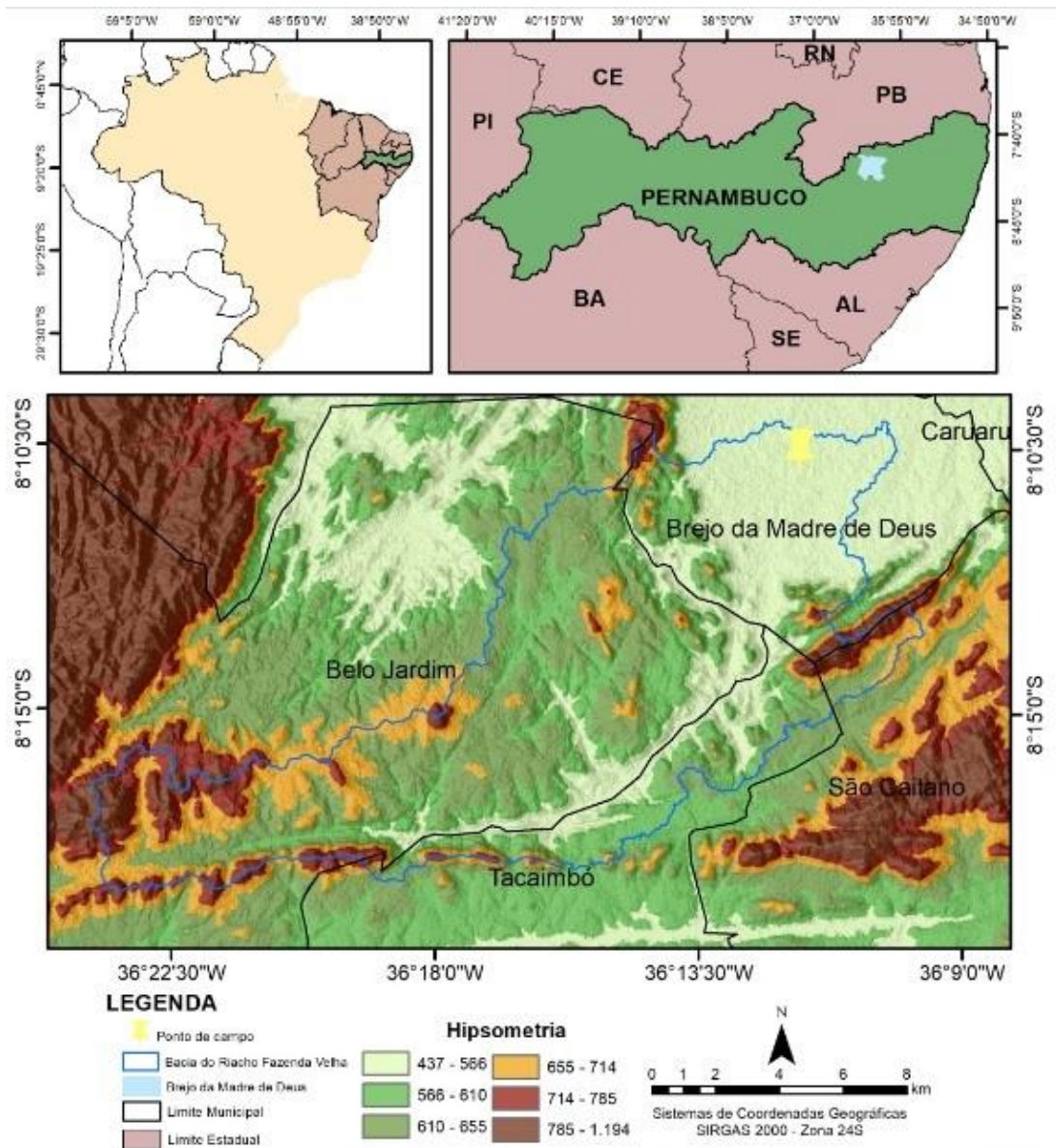


Fonte: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso no dia 02 de agosto de 2019.

Dentro do contexto semiárido no estado de Pernambuco, foram selecionadas três áreas para desenvolver a pesquisa sobre os possíveis condicionantes para a gênese e desenvolvimento das marmitas. As áreas em discussão estão localizadas no município de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro.

No município de Brejo da Madre de Deus foi escolhido o distrito de Fazenda Nova (Figura 04), já que nele se fazem presentes muitos afloramentos de rochas ígneas, a exemplo do granito porfirítico, tipo predominante na área. Estes granitos afloram em vários pontos da paisagem, dando origem a morfologias típicas como os matacões, cristas residuais e inselbergs. Neste ambiente de afloramentos com grande diversidade de formas, sobre áreas de menor declividade, topo de cimeiras, baixios estruturais, encostas suaves e pedimentos fazem-se presentes muitas marmitas de dissolução.

Figura 04: Delimitação da área de estudo, município de Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Os autores, 2022.

O município de Brejo da Madre de Deus está localizado na mesorregião do Agreste. O nome Brejo é decorrente da sua situação geográfica, uma vez que em certas localidades apresenta cotas altimétricas mais elevadas que, por conseguinte, proporcionam a ocorrência de áreas de exceção climática, decorrentes da exposição ou altitude. Segundo Andrade e Lins (1964), nos brejos a mancha de clima úmido tende a ocupar o topo da elevação e ocorre notadamente nas áreas sob a influência de massas de ar convectivo, o que neles reduz de maneira sensível os efeitos típicos da exposição; é a altitude, então, sobre o nível do mar que principalmente responde pelas precipitações.

Todavia, é importante salientar que o Distrito de Fazenda Nova está inserido no contexto climático típico de semiaridez, com totais pluviométricos girando em torno de 550

mm/ano, numa cota altimétrica de 500 m. Enquanto na sede do município de Brejo da Madre de Deus registra-se um total pluviométrico de 844 mm, concentrados nos meses de março a julho (SILVA, 2007).

As outras localidades escolhidas para desenvolvimento da pesquisa ficam dentro dos limites do município de Salgueiro, ao centro do estado de Pernambuco. O município de Salgueiro fica localizado na mesorregião do Sertão Pernambucano. Sua sede encontra-se nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 8° 4' 3" Sul, Longitude: 39° 7' 27" Oeste, distando 509,9 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232. Neste foram individualizadas duas áreas: o Distrito de Conceição das Crioulas e o Sítio Aqueológico e Paleontológico Lagoa Uri de Cima e seu entorno (Figura 05).

Figura 05: Delimitação da área de estudo no contexto do município de Salgueiro – PE, destacando as duas localidades investigadas.

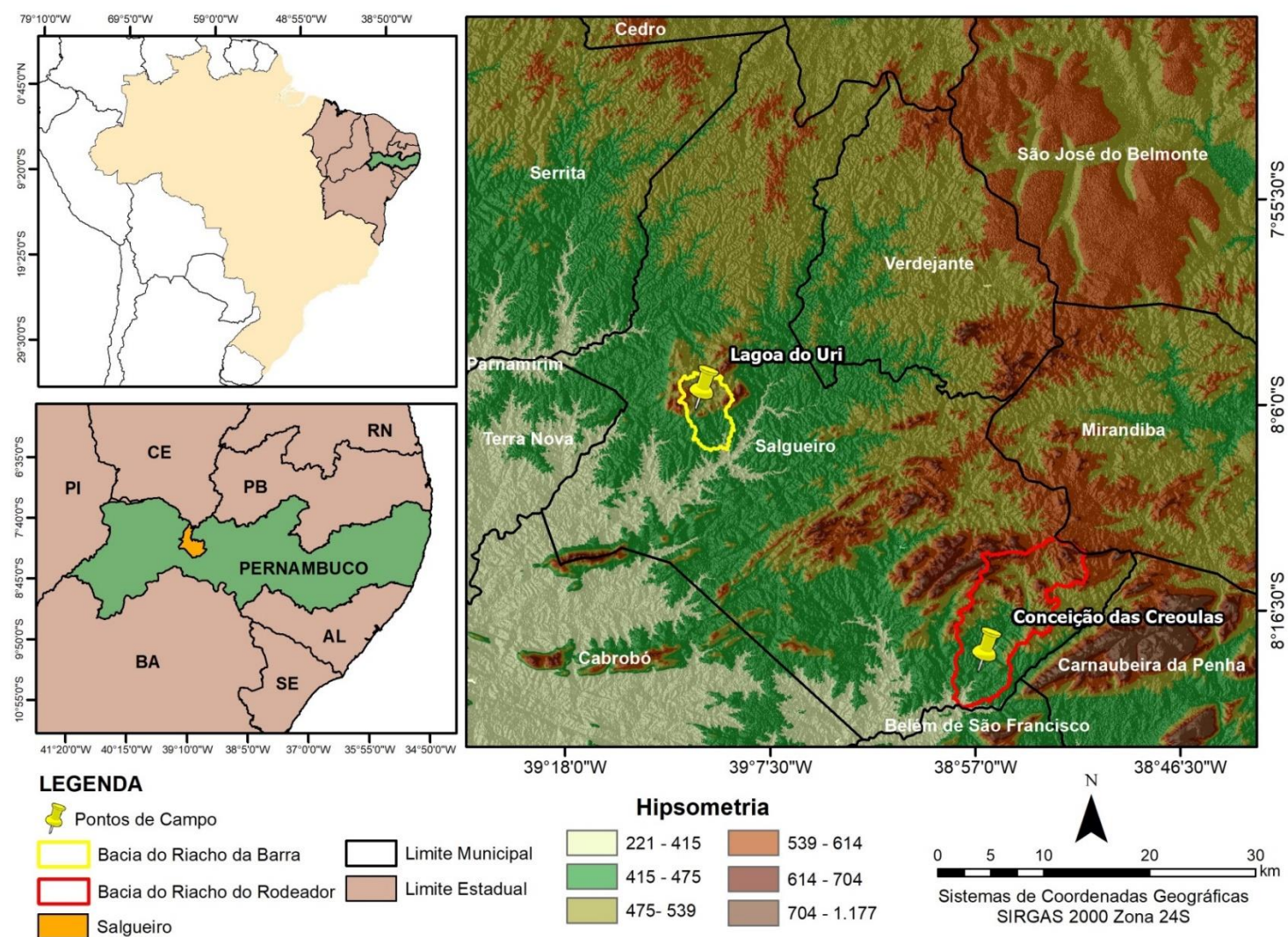


Figura 3: Localização do Distrito de Conceição das Crioulas e Sítio Arqueológico e Paleontológico Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE. Fonte: Os autores, 2019.

O distrito de Conceição das Crioulas encontra-se delimitado grosseiramente pelos paralelos $8^{\circ} 13'33''\text{S}$ e $8^{\circ} 21'00''\text{S}$ e os meridianos $38^{\circ} 54'00''\text{W}$ e $39^{\circ} 00'00''\text{W}$, a uma altitude de 500m, e dista cerca de 550 km da cidade do Recife. A área integra a bacia hidrográfica do Rio Terra Nova, com padrão de drenagem localmente variando de dendrítico a irregular, com cursos efêmeros que devido à baixa declividade da área dão lugar à formação de lagoas sazonais. Geologicamente, a área é caracterizada pela ocorrência do batólito de Conceição das Crioulas, orientado segundo a direção das zonas de fraqueza nas quais se aloja com trend NNE-SSW, sobre o qual se encontram as maiores altitude da área, ca. de 900 m.

Já o Sítio Arqueológico e Paleontológico Lagoa Uri de Cima é caracterizado atualmente como uma lagoa temporária com 199 m de comprimento e 92 m de largura, localizado no município de Salgueiro – PE, entre as coordenadas $39^{\circ}10'35''\text{O}$ e $8^{\circ}04'42''\text{S}$ a uma altitude de 518m (Figura 06). Este sítio fica localizado dentro de uma marmita de dissolução que sofreu vários processos de deposição de materiais detríticos proximais e matéria orgânica proveniente de restos de animais e plantas que existiam na região, num passado geológico recente, ao longo do Quaternário. Os vestígios orgânicos encontrados por meio de escavações na Lagoa, realizados entre os anos 2011 e 2012, no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), são pertencentes a megafauna pleistocênica, tendo sido catalogados por uma equipe de arqueólogos desde então (MACEDO et al., 2017).

No tocante a este aspecto, é importante salientar que as obras do PISF possibilitaram a extração de mais de 80 mil vestígios arqueológicos e paleontológicos, sendo o achado de preguiças gigantes (*Eremotherium* sp) no sítio arqueológico da Lagoa Uri de Cima um dos mais emblemáticos do projeto (PORTAL BRASIL, 2015)

Figura 06: Fotografia aérea com o uso de drone, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE.



Fonte: Diego Quintino (2017).

4.5.2 Contexto geológico

Neste tópico, serão abordados os principais aspectos geológicos do Agreste e do Sertão Pernambucano, tendo em vista sua posição dentro da região Nordeste do Brasil. Tal abordagem faz-se pertinente na medida em que a gênese das marmitas de dissolução está atrelada a determinados grupos de fatores litológicos e geotectônicos, sobretudo aqueles associados à rede de falhamentos, onde notadamente se destaca a influência de Lineamentos regionais (Pernambuco e Patos) e o magmatismo que atuou de forma intensa na configuração atual da Província Borborema. A evolução geotectônica da região Nordeste é marcada por grande instabilidade geológica, sobretudo durante o amalgamento de estruturas cratônicas e intrusões de vários níveis, volume e intensidade. Todo este contexto foi responsável por originar estruturas tectônicas e massas litológicas capazes de formatar entidades geológicas típicas do Nordeste, tais como o Cratón do São Francisco e Província Borborema (BRITO NEVES, 1975).

4.5.2.1 Província Borborema e os aspectos geológicos do Estado de Pernambucano

A geologia do estado de Pernambuco é bastante heterogênea, seja no que diz respeito às litologias existentes e recursos minerais encontrados. De acordo com a CPRM (2001) o substrato do território é constituído predominantemente por terrenos pré-cambrianos (cerca 90% do território), sendo recobertos, em menor proporção, por bacias sedimentares interiores de idade paleo/mesozóicas e por bacias litorâneas meso/cenozóicas (Figura 07).

Ainda no que diz respeito à geologia, o estado de Pernambuco está inserido dentro de uma unidade geológica denominada Província Borborema (Figura 08), que abrange grande parte do Nordeste, limitando-se com a bacia do Parnaíba a oeste, o Cráton São Francisco ao sul, a Província da Margem Continental Leste a leste e Equatorial ao norte (ALMEIDA et al., 1977).

Velhos (1,1-0,95 Ga) e Ciclo Brasileiro (0,75-0,57 Ga). Na rede de zonas de cisalhamento as maiores correspondem aos chamados lineamentos Patos e Pernambuco, ambos gerados por movimentação transcorrente de direção geral em torno E-W (ALMEIDA, et al., 1977).

Ainda sobre a Província, Santos et al. (2004) apresentam dados geocronológicos que ajudam a compreender como teria ocorrido o processo de amalgamento meso a neoproterozóico de várias subprovíncias ou domínios litotectônicos distintos. Vale destacar que a Província é composta majoritariamente por rochas do Paleoproterozóico, Eo-Neoproterozóico e terrenos deformados do Neoproterozóico com a maior parte do tectonismo gerado ou retrabalhado durante a junção Pan-africana há cerca de 600 Ma durante o Brasileiro (BEZERRA et al., 2008). Neste domínio, são característicos os inúmeros plutonismos granitóides e as importantes zonas de cisalhamento de idade Neoproterozóica/Brasileira (ALMEIDA et al., 1981).

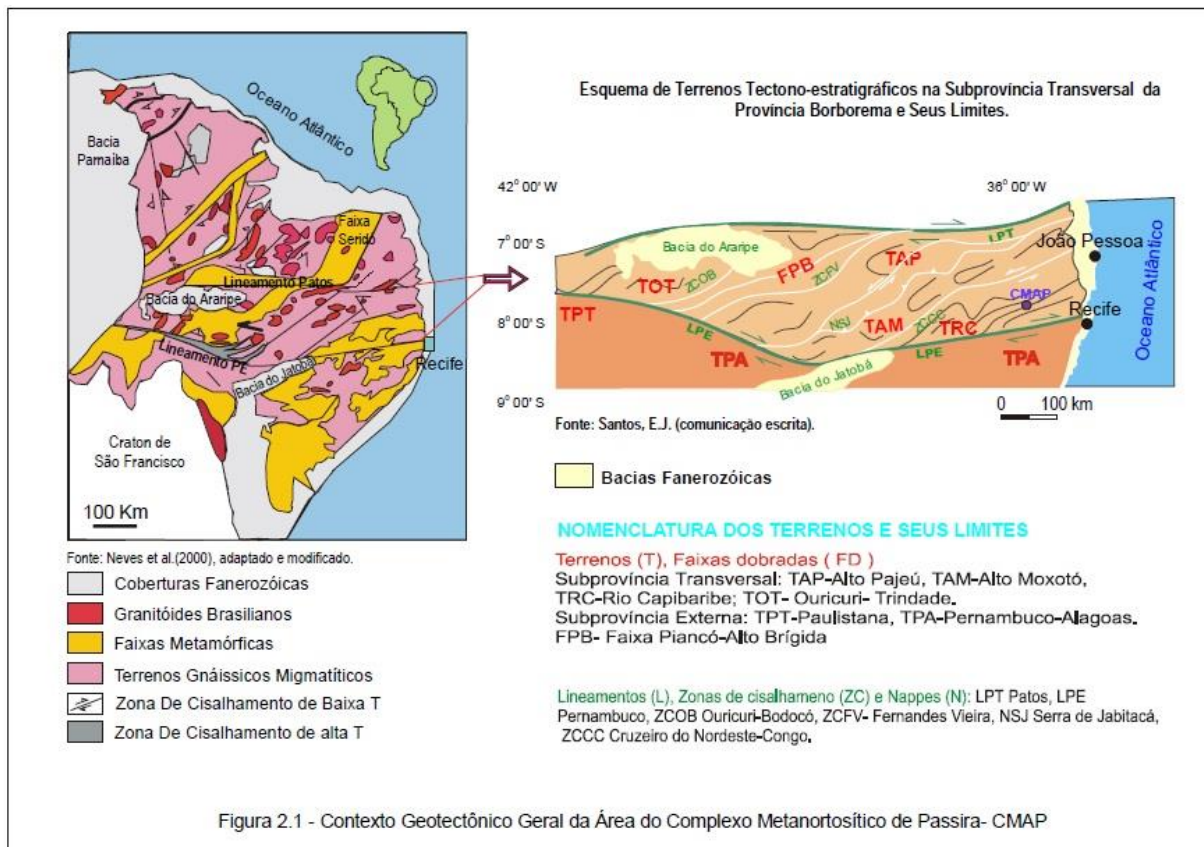
Em decorrência da sua grande variedade litológica, tectônica e estrutural, a Província pode ser dividida em três subunidades ou grandes domínios: Setentrional, Central e Meridional (Brito Neves et al., 2000). Estes, por sua vez, podem receber outras denominações tais como subprovíncia ou domínio Setentrional, Transversal e Meridional (Jardim de Sá, 1994; Santos, 1996). Cada domínio engloba vários terrenos, distinguidos por uma série de parâmetros de natureza litoestratigráfica, estrutural, geocronológica e geofísica. Estas subunidades, por sua vez, foram subdivididas em domínios, terrenos ou faixas, com base no patrimônio litoestratigráfico, feições estruturais, dados geocronológicos e assinaturas geofísicas (SANTOS, 1998).

Em virtude da subdivisão da Província Borborema destacadas acima serão abordados no tópico a seguir aspectos relevantes da unidade denominada Zona Transversal, uma vez que a porção do território Pernambuco onde a pesquisa foi desenvolvida está inserida neste subdomínio.

4.5.2.2 Domínio Transversal

A subunidade geológica ou domínio da Zona Transversal, também chamada de Domínio Central, compreende uma entidade tectônica de forma alongada na direção E-W (Figura 09), e corresponde à região geológica limitada pelas zonas de cisalhamento Patos, ao norte, e Pernambuco, ao sul (JARDIM DE SÁ, 1994).

Figura 09: Esquema dos terrenos tectono-estratigráficos na Zona Transversal da Província Borborema.



Fonte: Accioly & Santos, 2010.

Ainda sobre o Domínio Transversal, Jardim de Sá (1994) afirma que o mesmo teria sua gênese associada ao ciclo Brasileiro, sendo constituído por uma megaestrutura transcorrente sinistral com *trend* NE-SW e zonas de falhas dextrais com *trends* E-W. Todavia, os elementos dominantes neste complexo mostram diferenças marcantes, sobretudo no que diz respeito aos atributos lito-tectono-estratigráficos, que caracterizam diferentes terrenos separados por zonas de falhas de idade Carirís Velhos, parcialmente retrabalhados durante o evento Brasileiro (Brito Neves et al., 1995).

Ebert (1962) define o Domínio Transversal como sequências metassedimentares e metavulcânicas de idade Mesoproterozóica sustentadas por blocos do embasamento, de idade entre o Arqueano e Paleoproterozóico, intrudidos por grande quantidade de granitóides relacionados ao ciclo Brasileiro. Tais granitóides são abundantes e podem ser vistos na Figura 10, a seguir, com tonalidades mais escuras. Estes corpos rochosos são áreas preferenciais onde podem, mediante as condições locais, possibilitar a gênese de marmitas de dissolução, objeto de estudo desta pesquisa.

Figura 10: Mapa esquemático dos terrenos da Zona Transversal, Província Borborema.

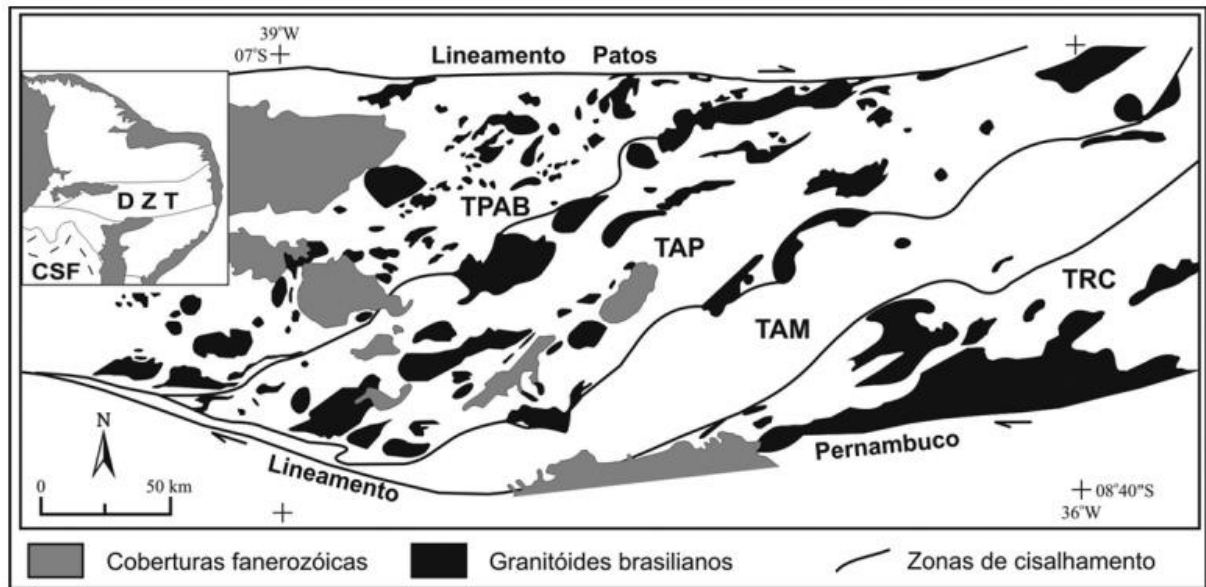


Figura: CSF = Cráton São Francisco; DZT = Domínio da Zona Transversal; TPAB = Terreno Piancó-Alto Brígida; TAP = Terreno Alto Pajeú; TAM = Terreno Alto Moxotó; TRC = Terreno Rio Capibaribe.
Fonte: Santos & Medeiros (1999).

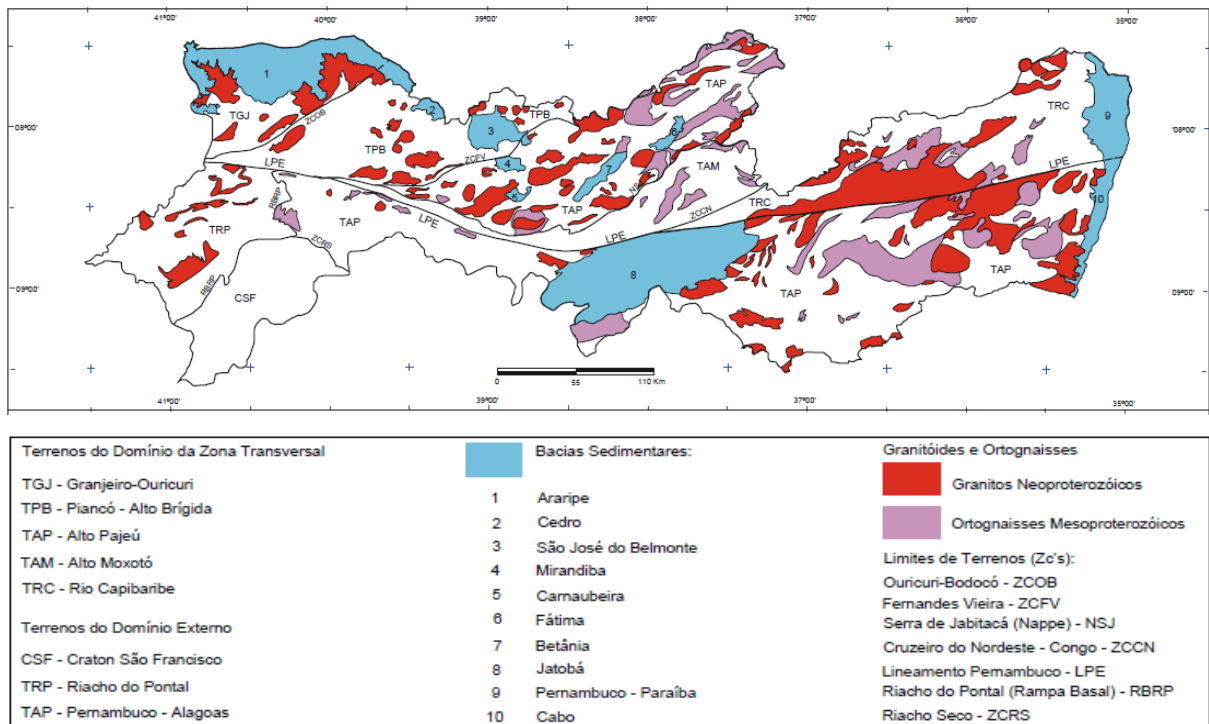
Segundo a compartimentação de Santos (1996) o Domínio Transversal seria composto pelos terrenos Piancó-Alto Brígida, Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe. Medeiros (2004) afirma que o Terreno Piancó Alto-Brígida é um compartimento geológico de idade neoproterozóica, constituído, em sua maior parte, por rochas metamórficas de protólito sedimentar. Já o terreno Alto Pajeú é formado basicamente por granitóides e metagranitóides de idade neoproterozóica (MARINHO, 2012) e o Alto Moxotó e Rio Capibaribe por gnaisses, migmatitos, ortognaisses e metagranitóides, datados do paleoproterozóica, embora se façam presentes neste domínio, mesmo em pequena quantidade, o magmatismo plutônico neoproterozoico/ediacarano (SANTOS, 1995; LAGES E MARINHO, 2012).

Os principais compartimentos deste domínio são definidos através de uma hierarquia tectônica constituída por sistemas de faixas de dobramentos, maciços medianos e lineamentos com suas raízes mantidas, corroboradas por estudos de viés estrutural/geocronológico, sendo constituído basicamente por terrenos de idade paleoproterozóica que ocorrem como remanescentes de um antigo embasamento (de idade transamazônica), concentrados ao longo de duas estruturas que têm como direção principal WSW-ENE, separados por uma faixa central de litologia mesoneoproterozóica. Ocorre, ainda, o Terreno Granjeiro-Ouricuri, de idade paleoproterozoica, penetrado por diversas intrusões graníticas brasileiras. (VAN SCHMUS *et al.*, 1995).

Nas partes sul e sudeste do Domínio Transversal registra-se um alinhamento de terrenos menores – os quais, provavelmente, foram dispersos no Brasiliano ao longo do Lineamento Pernambuco – com extensão mínima de 550 km. Tais terrenos são formados por rochas de composição originalmente granítica, as quais foram submetidas a intensas mudanças de temperatura e pressão, incluindo porções menores de outras litologias. A evolução da Subprovinça Transversal envolveu uma colagem através de dois eventos sucessivos, conhecidos como Cariris Velhos (ca. 1,0 Ga) e Brasiliano (ca. 0,6 Ga) (SANTOS, 1996; SANTOS et al., 1997).

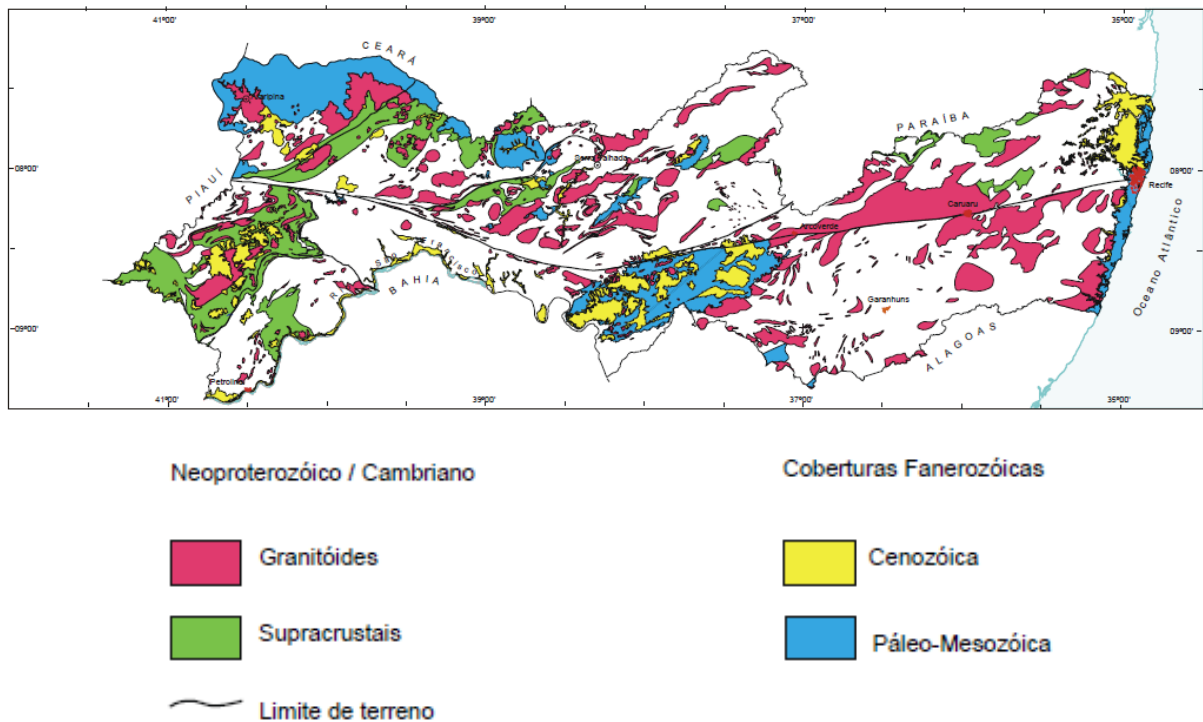
Neste contexto, pode-se afirmar que em virtude do estado de Pernambuco estar inserido sobre um mosaico geotectônico variado e complexo (Figuras 11 e 12), constituído por diversos terrenos dos domínios Transversal e Externo, na Província Borborema, e uma pequena porção do Cráton do São Francisco, no extremo oeste-sudoeste do estado, sua história de evolução geológica e tectônica deixou marcas em sub-superfície e superfície, que favorecem a gênese de um relevo heterogêneo, onde em condições adequadas de clima e sistema bioclimático, levam ao desenvolvimento de marmitas de dissolução sobre compartimentos de relevo específicos (cimeiras estruturais, maciços, cristas, pedimentos e inselbergues), como já apontados por diversos trabalhos (SILVA, 2007; ALVES, 2007; SANTOS et al., 2008; MACEDO, 2016; SOUZA, 2018).

Figura 11: Compartimentação tectônica do Estado de Pernambuco.



Fonte: CPRM, 2001.

Figura 12: Neoproterozóico, Cambriano e Coberturas Fanerozóicas no Estado de Pernambuco.



Fonte: CPRM, 2001.

Nos mapas acima, síntese dos principais elementos litológicos e tectônicos do estado, é importante destacar o foco nos terrenos constituídos por granitoides e ortognaisses, nos domínios Transversal e Externo (Figura 11), terrenos neoproterozóicos/cambrianos, formados principalmente por granitoides e supracrustais (Figura 12) e seus respectivos limites, que coincidem com os principais lineamentos regionais, a exemplo do Lineamento Pernambuco e Patos. Dentro do contexto destes domínios da Província Borborema é onde foi identificada a maior parte das microformas aqui estudadas, distribuídas em situação similar no território de outros estados da região Nordeste, como será abordado em tópicos posteriores.

4.5.2.3 Magmatismo na Zona Transversal

Magmatismo é definido por Suguio (19998) como um conjunto de processos associados ao desenvolvimento e movimentação do magma no interior da Terra. Este conjunto de processos por sua vez, divide-se em duas vertentes: vulcanismo, extravasamento do magma na superfície, e plutonismo, associado à injeção do magma em porções abaixo da superfície terrestre, em baixas profundidades. Estes fenômenos irão formar as rochas magmáticas e metamórficas, quando ocorre o contato entre uma rocha pré-existente com o

magma jovem. Os eventos associados ao plutonismo são o foco da discussão aqui neste tópico, uma vez que as áreas de estudo estão em assentadas sobre estruturas geológicas plutônicas.

Denomina-se plúton qualquer corpo de rocha ígnea intrusiva, independentemente da sua dimensão. Estes corpos quando têm uma área superior a 100 km² são denominados batólitos (CHRISTOPHERSON, 2012), que no contexto da região semiárida do Nordeste, dá origem à diversas formas de relevo, tais como inselbergues, cristas, serras, cimeiras estruturais e maciços (Basílio E. Cruz Filho et al., 2003; CORRÊA, 2001; CORRÊA et al., 2010; ROSEMBERG DA SILVA ALVES, 2007; JOHNSON FERNANDES NOGUEIRA, 2004; Maia et al., 2015; CASTRO et al., 2016). Injeções de magma na crosta podem originar corpos intrusivos de menor dimensão, que podem receber várias denominações a saber: stocks, diques concordantes, diques vulcânicos, lacólito, *sill*, necks (GUERRA, 2005; TEIXEIRA et al., 2008; CHRISTOPHERSON, 2012).

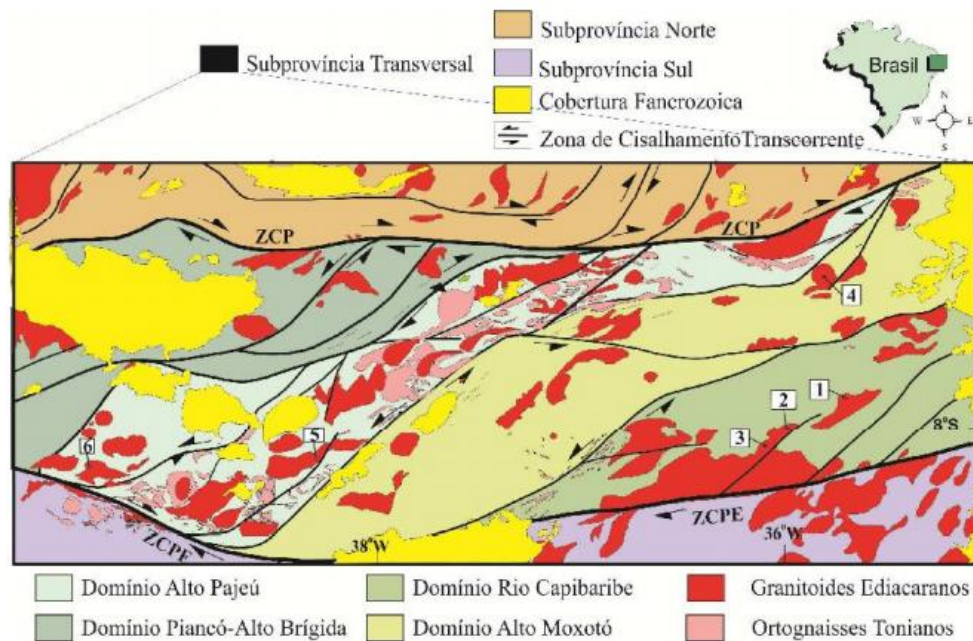
O magmatismo granítico é uma das feições mais expressivas da orogênese Brasileira na Província da Borborema, a intensa atividade magmática está representada por inúmeros corpos com dimensões e formas variadas (ROBERTA GALBA BRASILINO, tese 2003). No contexto da Província Borborema, vários são os estudos conduzidos em plútons graníticos nas últimas décadas. Estes estudos têm contribuído de forma significativa para o entendimento da evolução tectônica da Província Borborema. O estudo estrutural e geocronológico destas massas rochosas permite verificar a ocorrência de variações temporais e espaciais de regimes cinemáticos, constituindo-se importantes marcadores de deformação regional (NEVES, 2012). Tais deformações são identificadas nos contextos litológicos das áreas de estudo, por meio das evidências que serão discutidas nos resultados, na secção de análise petrográfica.

Em se tratando da Zona Transversal, tais eventos ligados ao magmatismo são recorrentes e bem documentados. Por estar localizada entre duas zonas de cisalhamento (Lineamento Patos, limite norte, e Pernambuco, limite sul), tendo sofrido intenso processos tectônicos compressivos e transcorrentes ao longo do Pré-Cambriano, em decorrência de eventos geotectônicos como o Cariris Velho e Brasileiro, principalmente (BRITO NEVES et al., 2003; NEVES et al., 2002, 2006; Mariano et al., 1999; Mariano et al., 2000). Segundo Brito Neves (1983) e Vauchez et al. (1995) o magmatismo de natureza plutônica juntamente com as zonas de cisalhamento transcorrentes de escala continental são a principal expressão estrutural da Orogênese Brasileira.

Estes granitóides, associados ao intenso magmatismo na Zona Transversal, estão distribuídos por todos terrenos ou domínios da Subprovíncia (Van Schmus et al., 2011),

como pode ser visto na Figura 13. As evidências de processos intrusivos são marcantes na zona Transversal, e naturalmente repercutem bastante no contexto geológico das áreas investigadas.

Figura 13: Contexto geológico dos Domínios da Subprovincia Transversal no contexto da Província Borborema.



Fonte: Guimarães et al. (2016).

4.5.2.4 Geologia da área de estudo nos municípios de Salgueiro e Brejo da Madre de Deus - PE

4.5.2.4.1 Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, Salgueiro - PE

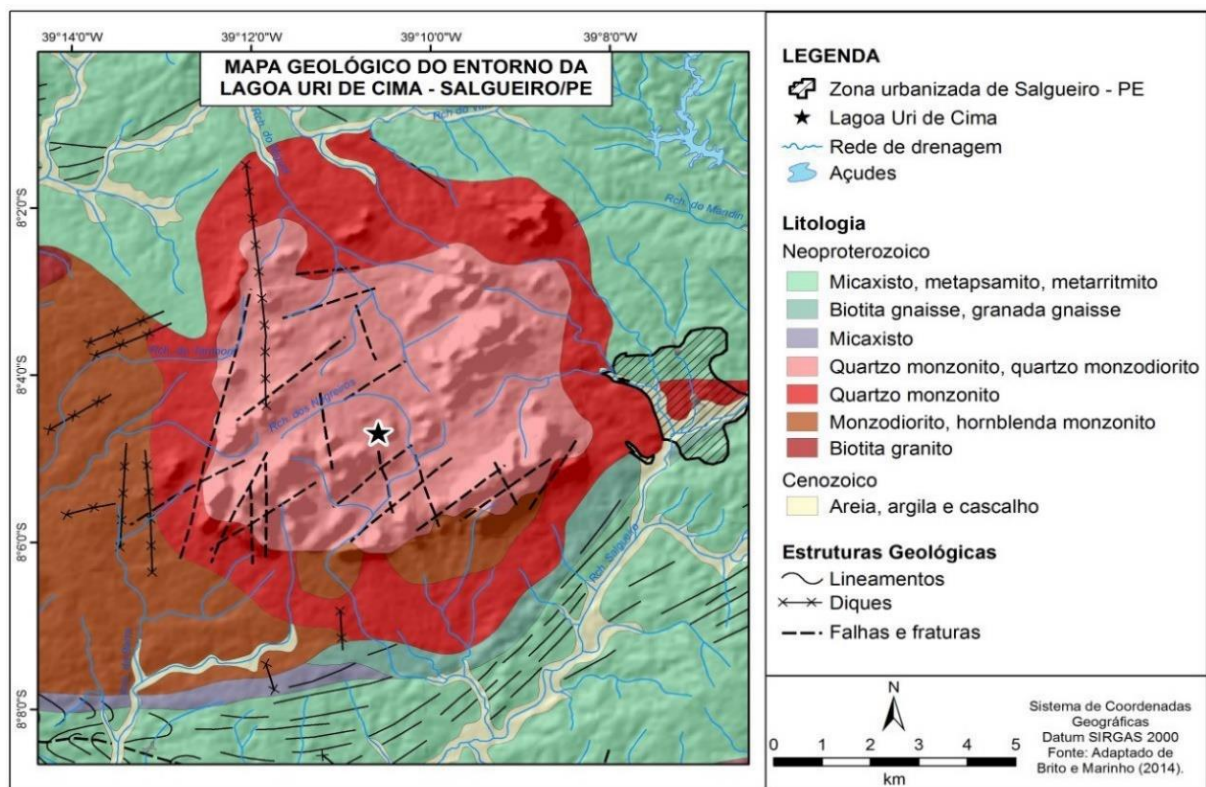
O Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima encontra-se inserido geologicamente no contexto da Zona Transversal da Província Borborema, mais precisamente no Terreno Piancó Alto Brígida, do qual fazem parte quatro complexos litológicos: Cachoeirinha, Salgueiro, Riacho Gravatá e Poço dos Cachorros. Os dois primeiros são formados por sequência de rochas metamórficas de protólito sedimentar, originados durante o neoproterozóico. Os outros dois são constituídos por rochas sedimentares metavulcano-sedimentares de idade mesoproterozóica. Em termos de litologia, a Lagoa Uri está compreendida dentro da Suíte Intrusiva Shoshonítica Salgueiro/Terra Nova ou simplesmente Suíte Intrusiva Terra Nova, formada por rochas como o diorito, quartzo-monzonitos e quartzo-diorito (ver o mapa

geológico, Figuras 14). Esta Suíte possui idade neoproterozóica de aproximadamente 630 milhões de anos (CPRM, 2005).

A referida suíte intrusiva originou um conjunto de rochas metamórficas mesoproterozóicas do Complexo Salgueiro, que tem como litologia predominantemente xistos e filitos. A gênese deste Complexo tem estreita relação com o Ciclo Orogenético Brasileiro, o qual foi responsável por uma série de corpos intrusivos do neoproterozóico no Nordeste do Brasil. Sobre os aspectos litológicos da Lagoa Uri, Mützenber *et. al* (2013) pontua o seguinte:

A Lagoa é totalmente cercada por rochas dioríticas da Suíte Intrusiva Terra Nova, de textura fanerítica e tendo o quartzo como mineral predominante. Devido à alta concentração de quartzo nos afloramentos que circundam a lagoa, a rocha foi localmente classificada como um quartzo-diorito. A concentração de blocos rochosos em alguns setores do entorno da lagoa sugere algum transporte local, porém, alguns blocos preservam as mesmas fraturas tardias do embasamento, ou seja, possuem direções e sentido de mergulho das fraturas iguais às do embasamento cristalino, o que corrobora sua posição *in situ* (MÜTZENBERG *et. al*, 2013, 56p).

Figura 14: Mapa Geológico do entorno da Lagoa Uri de Cima, Salgueiro - PE.



Fonte: Ferreira, George, 2019.

4.5.2.4.2 Conceição das Crioulas

No tocante aos aspectos geológicos, a Comunidade Quilombola de Conceição das Crioulas está inserida dentro de um Batólito ou Plúton de nome análogo (Figura 15), sendo parte integrante do Complexo Monteiro, que apresenta litologias originados ao longo do Pré-Cambriano Médio, tendo sofrido grande influência e perturbações durante o Ciclo Orogenético Brasileiro, se configurando como uma faixa remanescente de pouca profundidade (Brito Neves, 1975; CPRM, 2005).

A intrusão que deu origem ao Batólito tem formato elipsoidal irregular com eixo maior na direção NNE-SSW e abrange uma área de cerca de 120 km², mostrando uma relação nitidamente intrusiva com as rochas encaixantes, caracterizando-se por apresentar a mineralogia e a disposição espacial dos minerais (fábrica magmática) bem preservadas (CPRM, 2005).

Figura 15: Afloramento de granito porfirítico, em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.



Figura: Aspecto do Granito porfirítico, com textura heterogênea de minerais máficos e félsicos de tamanhos distintos. Fonte: Acervo do autor, 2019.

Em termos de litologia, o tipo de rocha predominante na área é o granito porfirítico, com textura bastante heterogênea, onde os minerais félsicos se apresentam bem mais desenvolvidos do que os máficos (Figura 16). Esta rocha é muito comum em ambientes intrusivos na Província Borborema, afetados por perturbações decorrentes do Ciclo Brasileiro.

4.6.2.4.3 Aspectos da geologia de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus - PE

Esta área está inserida no Batólito Brejo da Madre de Deus, de idade Neoproterozóica, que por sua vez, está inserido no batólito Caruaru-Arcoverde, o maior corpo da associação cálcio-alcálica de alto potássio da Província Borborema, ocupando a porção centro-leste do mesmo e situado entre os municípios de Belo Jardim e Brejo da Madre de Deus (MELO, 2002).

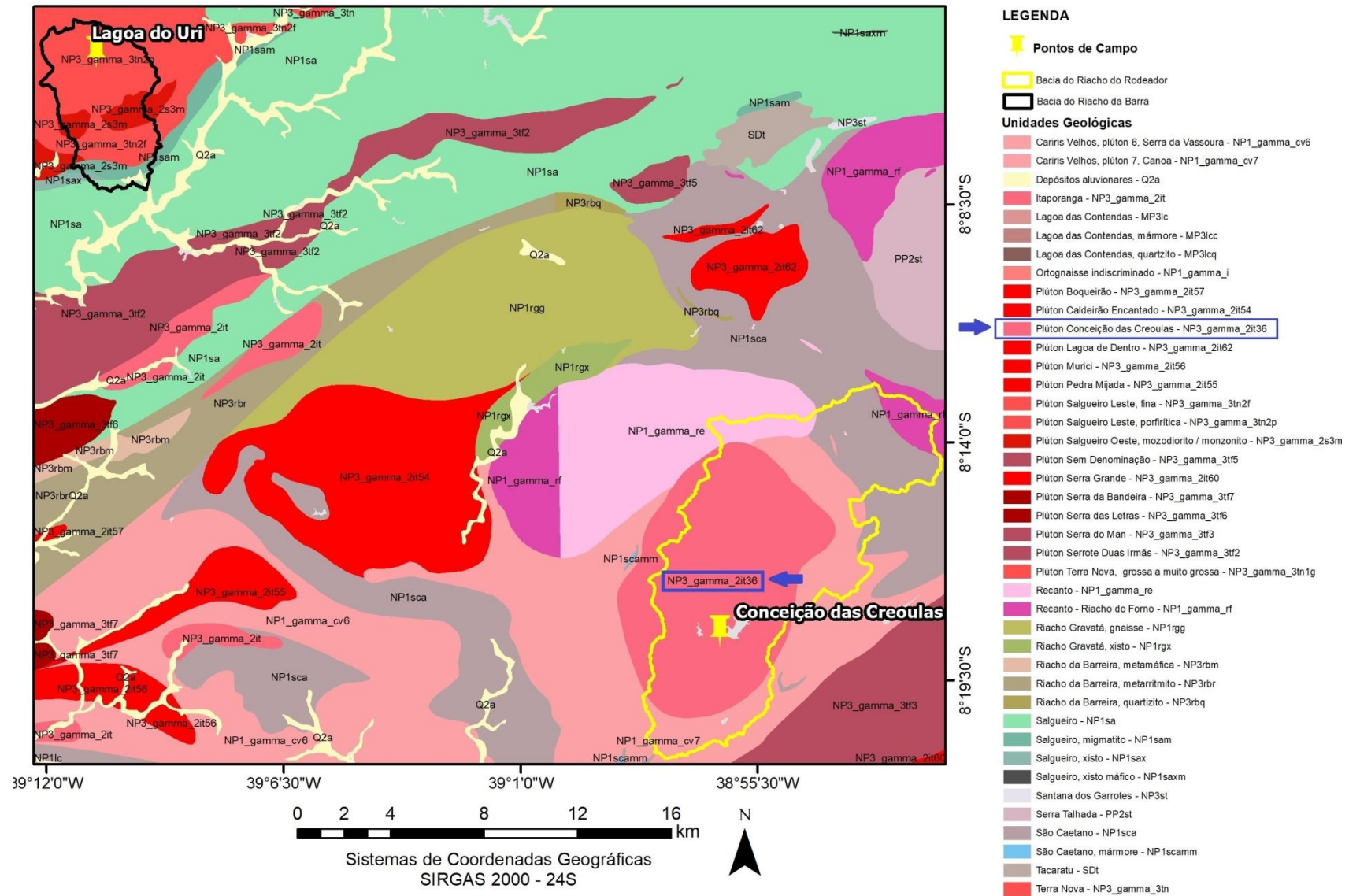
A extensão lateral leste do batólito corresponde ao complexo ígneo cálcio alcalino de alto potássio Fazenda Nova/Serra da Japacanga (NEVES e VOUCHEZ, 1995). As rochas encaixantes do batólito Brejo da Madre de Deus são, ao sul, biotita xistos granatíferos, paragneisses e ortogneisses graníticos a granodioríticos, e, a norte, ortogneisses graníticos a dioríticos e migmatitos. Os sienogranitos ocupam cerca de 85% da área total de todo o batólito Brejo da Madre de Deus. Petrograficamente apresentam textura grossa a porfirítica, onde se destaca cristais de feldspato potássico com até 8 cm de comprimento; e mineralogicamente esta fácies é constituída além de feldspato potássico, por plagioclásio e quartzo como minerais essenciais. Os máficos dominantes são biotita, anfibólio e, em menor quantidade, titanita (Figura 16).

Figura 16: Aspectos texturais do granito pórfiro em Brejo da Madre de Deus – PE.



Figura: Massa granítica com textura porfirítica, Batólito Brejo da Mare de Deus, com predominância de fácies grossa de minerais félsicos entre os máficos. Fonte: Silva, 2007.

Figura 17: Unidades Geológicas nas áreas de estudo no município de Salgueiro – PE.



Fonte: O autor, 2019.

A extensão lateral leste do batólito corresponde ao complexo ígneo cálcio alcalino de alto potássio Fazenda Nova/Serra da Japacanga (NEVES e VOUCHEZ, 1995). As rochas encaixantes do batólito Brejo da Madre de Deus são, ao sul, biotita xistos granatíferos, paragnaisses e ortognaisses graníticos a granodioríticos, e, a norte, ortognaisses graníticos a dioríticos e migmatitos. Os sienogranitos ocupam cerca de 85% da área total de todo o batólito Brejo da Madre de Deus. Petrograficamente apresentam textura grossa a porfirítica, onde se destaca cristais de feldspato potássico com até 8 cm de comprimento; e mineralogicamente esta fácies é constituída além de feldspato potássico, por plagioclásio e quartzo como minerais essenciais. Os máficos dominantes são biotita, anfibólio e, em menor quantidade, titanita (Figura 18).

Figura 18: Aspectos texturais do granito pórfiro em Brejo da Madre de Deus – PE.

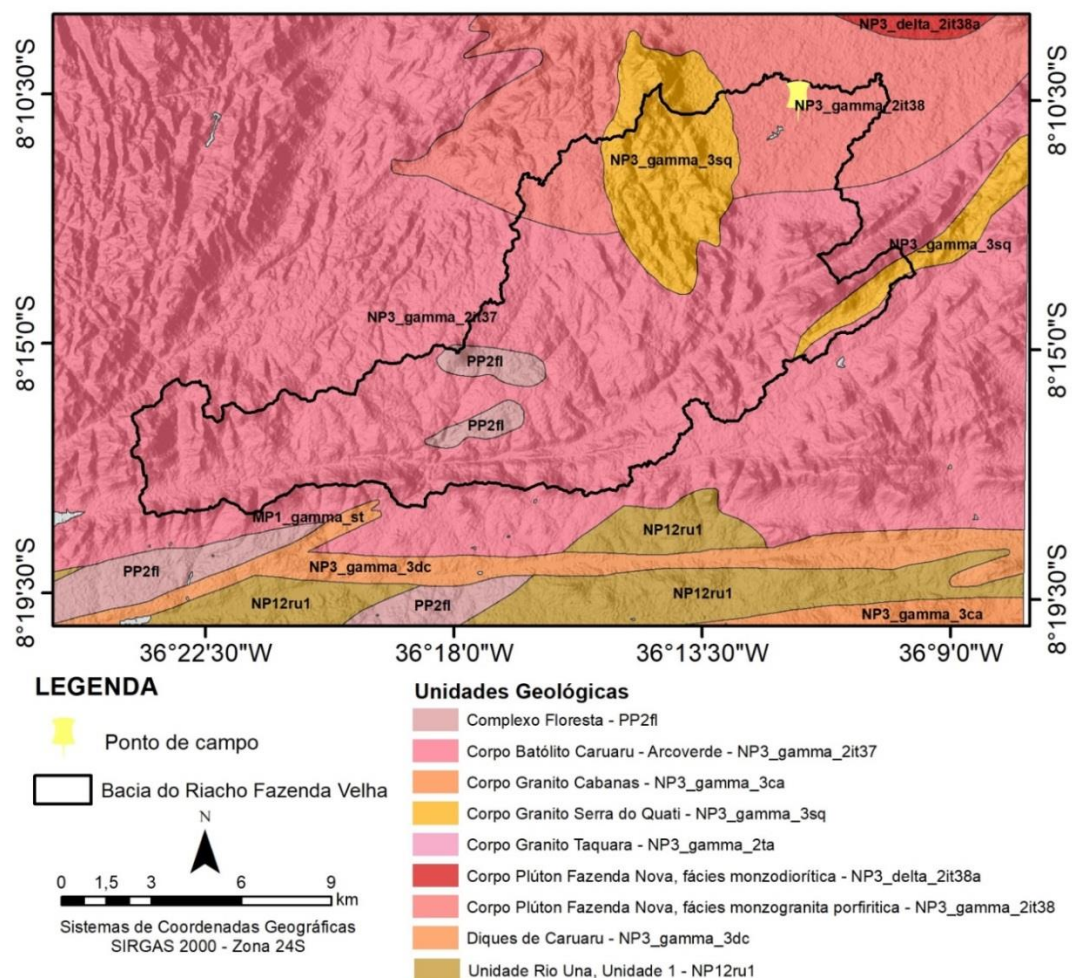


Figura: Massa granítica com textura porfirica, Batólito Brejo da Mare de Deus, com predominância de fácies grossa de minerais félsicos entre os máficos. Fonte: Silva, 2007.

De um modo geral, estes corpos magmáticos citados têm origem ligada ao contexto de evolução tectônico-estrutural da Província Borborema, bastante instável ao longo de grandes ciclos orogenéticos (Cariris Velho, Pan-Africano, Brasileiro) até a Reativação Wealdeniana que possibilitou a abertura do Atlântico Sul (Almeida, 1967; BRITO NEVES, 1981; Brito Neves 1983; Trompette, 1994).

Dentro do contexto do Batólito Brejo da Madre de Deus, são identificados alguns corpos litológicos de menores dimensões ou fácies, entre os quais encontra-se o Plúton Fazenda Nova, onde está inserida umas das áreas investigadas, constituído principalmente por rochas monzodioríticas, que tem associação com fenômenos metamórficos ligados eventos plutônicos comuns à área de estudo (Figura 19).

Figura 19: Geologia da bacia Riacho Fazenda Nova, em Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: O autor, 2019.

4.5.3 Contexto geomorfológico

A forma como os vários atributos da natureza se relaciona entre si em cada espaço faz com que surjam distintas paisagens naturais no estado de Pernambuco. Nestas paisagens, alguns atributos se sobressaem na caracterização da fisionomia superficial. Dentre estes atributos temos o relevo, que resulta da relação de processos internos e externos agindo de

forma contínua ao longo do tempo, ora com mais ora com menos intensidade. Assim, o relevo de Pernambuco é diversificado no que diz respeito aos tipos de feições existentes. Tal diversidade é resultado da interação entre diferentes estruturas geológicas e litologias, além do contexto morfotectônico, clima, vegetação e condições pedológicas existentes.

No tocante a este ponto, Torres e Pfaltzgraff (2014) afirmam o seguinte.

O estado de Pernambuco apresenta grande variedade de formas de relevo, esculpidas, predominantemente, em terrenos supracrustais e, secundariamente, do embasamento, além de sedimentos das bacias litorâneas de Pernambuco e da Paraíba e das bacias interiores de Araripe, Jatobá, Mirandiba, Betânia, São José do Belmonte e Fátima. Tal diversidade de paisagens foi condicionada por um conjunto de fatores que interferiram na geomorfogênese, tais como estrutura geológica, evolução morfoclimática e processos atuais (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014. 282 p).

A diversidade citada acima favorece a distinção de diferentes unidades, compartimentos e feições geomorfológicas. Em se tratando deste aspecto, é possível identificar no estado os seguintes domínios geomorfológicos: Planície Costeira, Tabuleiros Costeiros, Patamares Orientais da Borborema, Planalto da Borborema, Depressão do Baixo Rio São Francisco, Planalto Sedimentar da Bacia do Jatobá, Chapada do Araripe, Depressão Sertaneja, Planície do Rio São Francisco. Este modelo toma como base a litologia de cada área, condicionantes tectônico-estruturais e ação da dinâmica externa (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014).

Todavia, se faz pertinente salientar que grande parte dos estudos geomorfológicos no Estado de Pernambuco dificilmente apresenta algum tipo de detalhamento no tratamento das formas, seja no nível das cartas topográficas ou por unidades geomorfológicas (morfoestruturas ou bacias de drenagem), ou mesmo dos materiais subsuperficiais que estruturam a paisagem.

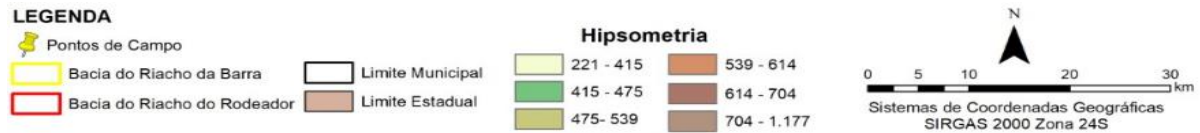
Em se tratando dos ambientes geomorfológicos no qual as marmitas de dissolução se fazem presentes, é importante frisar o fato de grande parte delas está inserida no domínio estrutural do Planalto da Borborema, onde é possível identificar maciços estruturais, cristas, serras e áreas de cimeiras, retratados em estudos clássicos em Geomorfologia sobre a evolução das vertentes da região Nordeste, como os que trazem à tona a ideia de superfícies de Pediplanação (Pd_3 , Pd_2 e Pd_1) em diferentes altitudes e dois níveis de Pedimentos (P_2 e P_1) inseridos nos vales e nas bacias (BIGARELLA *et al.*, 1965^a).

Em virtude de intensos processos denudacionais, afloram corpos litológicos ígneos ou metamórficos, susceptíveis a formar, em condições normais, marmitas de dissolução. A denudação é decorrente de uma secessão de ciclos de erosão no semiárido pernambucano e nordestino, durante picos de eventos pluviométricos relacionados às oscilações climáticas ao longo do Quaternário, onde momentos mais úmidos e momentos mais secos deixaram marcas visíveis na paisagem. Os compartimentos regionais no nível de Nordeste, com cotas altimétricas mais elevadas, em geral superiores a 400 m, são um condicionante natural para a existência de marmitas, quando a rocha do embasamento está exposta (BARRETO, 2004). (Figura 20).

Se for feita uma individualização dos compartimentos regionais onde as marmitas estão presentes em Pernambuco, seria constatada sua distribuição em quatro compartimentos principais, de acordo com a classificação proposta por Torres e Pfaltzgraff (2014): Patamares Orientais da Borborema, Planalto da Borborema, Depressão do Baixo Rio São Francisco e Depressão Sertaneja.

Figura 20: Posição altimétrica das marmitas de dissolução em duas localidades do município de Salgueiro – PE.

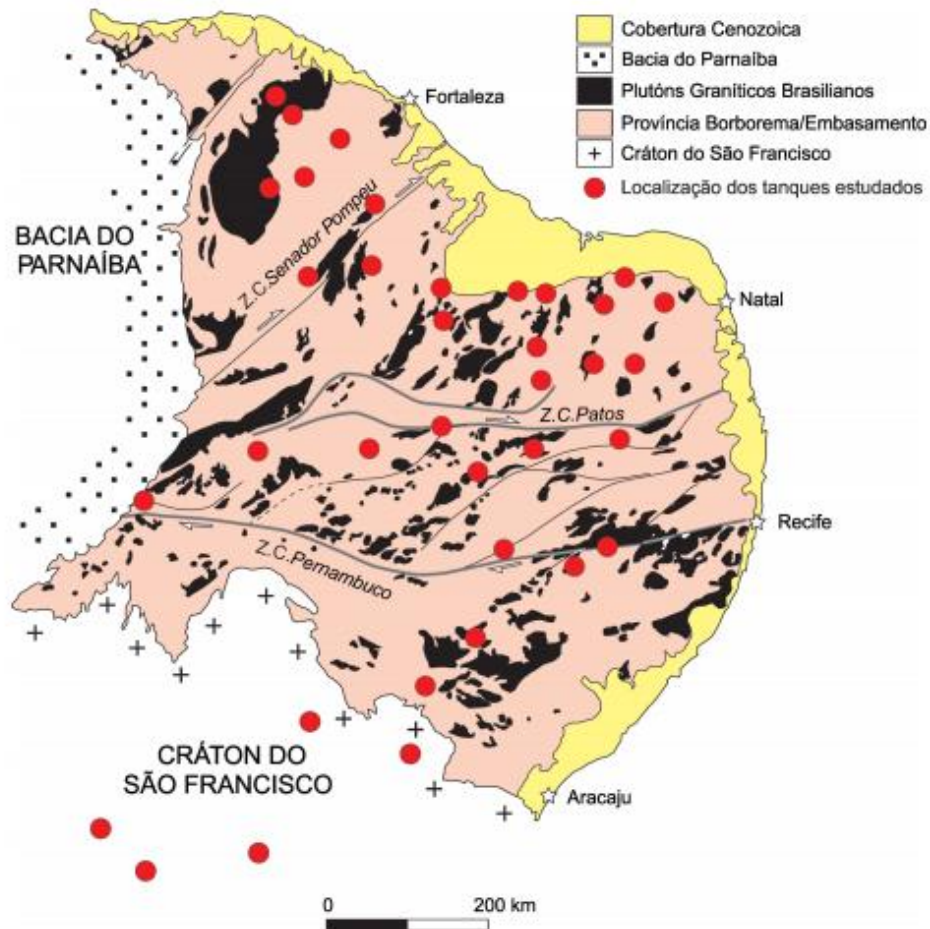




Fonte: Os autores, 2019.

Desse modo, faz-se necessário afirmar que a o padrão de distribuição espacial das marmitas de dissolução no estado de Pernambuco está relacionado ao padrão de distribuição dos compartimentos mais soerguidos no Nordeste semiárido ou mesmo em determinadas áreas da Depressão Sertaneja, onde afloram rochas ígneas e/ou metamórficas (Figura 21).

Figura 21: Província Borborema (Nordeste do Brasil) destacando a localização de tanques (lato sensu) fossilíferos estudados, as rochas plutônicas do Brasileiro-Pan Africano e as zonas de cisalhamento.

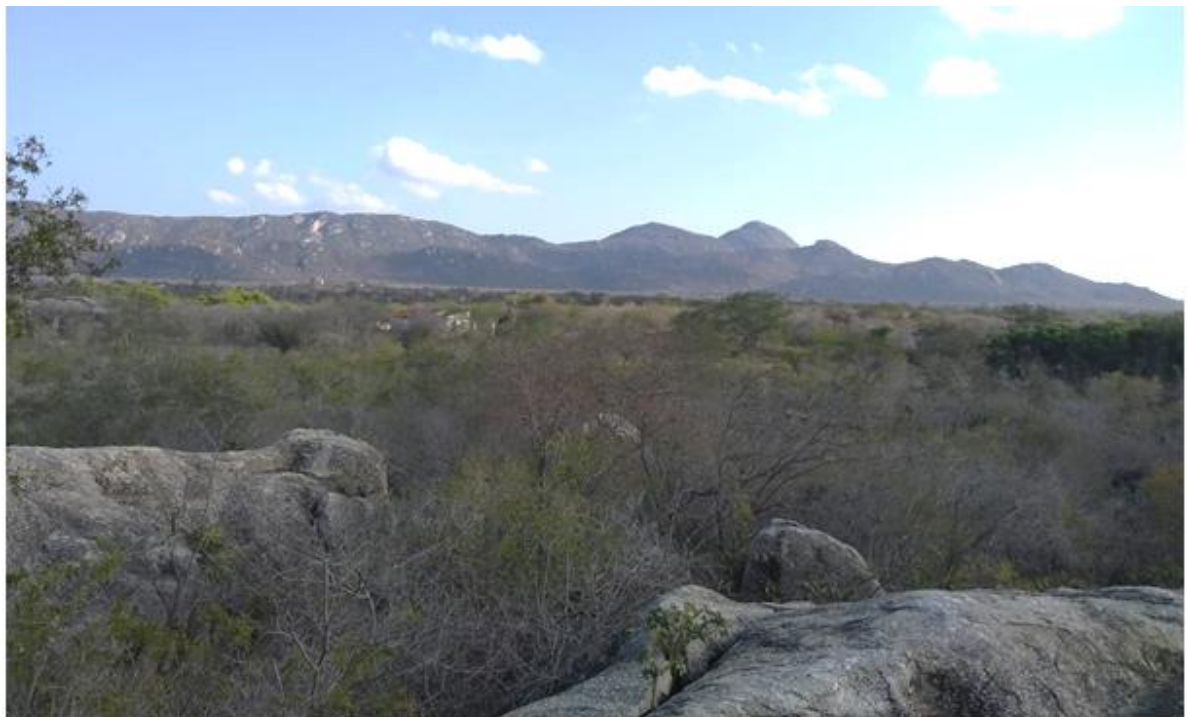


Fonte: Modificado de Archanjo et al. (2008).

4.5.3.1 Relevo em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE

A área onde as marmitas de dissolução estão inseridas no distrito de Fazenda Nova, no município de Brejo da Madre de Deus, está imersa em uma depressão inter-planáltica aplainada e dissecada pelas fases erosivas pós-Cretáceas. Neste ambiente dominado por pedimentos, ocorrem feições mais elevadas por conta do forte controle estrutural (Figura 22), marcada por diferenciações na litologia local, estreitamente relacionadas aos trends de falhas regionais, onde surgem, em meios aos confinamentos rúpteis, morfologias em alvéolos, associados às drenagens intermitentes e efêmeras. As cotas topográficas na área variam entre 500 a mais de 900 metros de altitude, configurando uma paisagem geomorfológica com compartimentos de cimeiras, onde obedecendo ao controle lito-estrutural, pedimentos se iniciam a partir dos flancos das cimeiras, e mergulham até os níveis de base locais, representados por canais fluviais.

Figura 22: Aspectos do relevo em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE, evidenciando o contexto das serras ao fundo, marcadas pelo controle estrutural.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

O relevo local é marcado pela predominância de pedimentos, cercados por cristas e cimeiras estruturais, onde se fazem presentes inselbergues e conjuntos de serras alinhadas, semelhante ao que ocorre nas outras duas localidades investigadas. Em Fazenda Nova os relevos residuais apresentam-se orientados segundo as direções preferenciais da estrutura

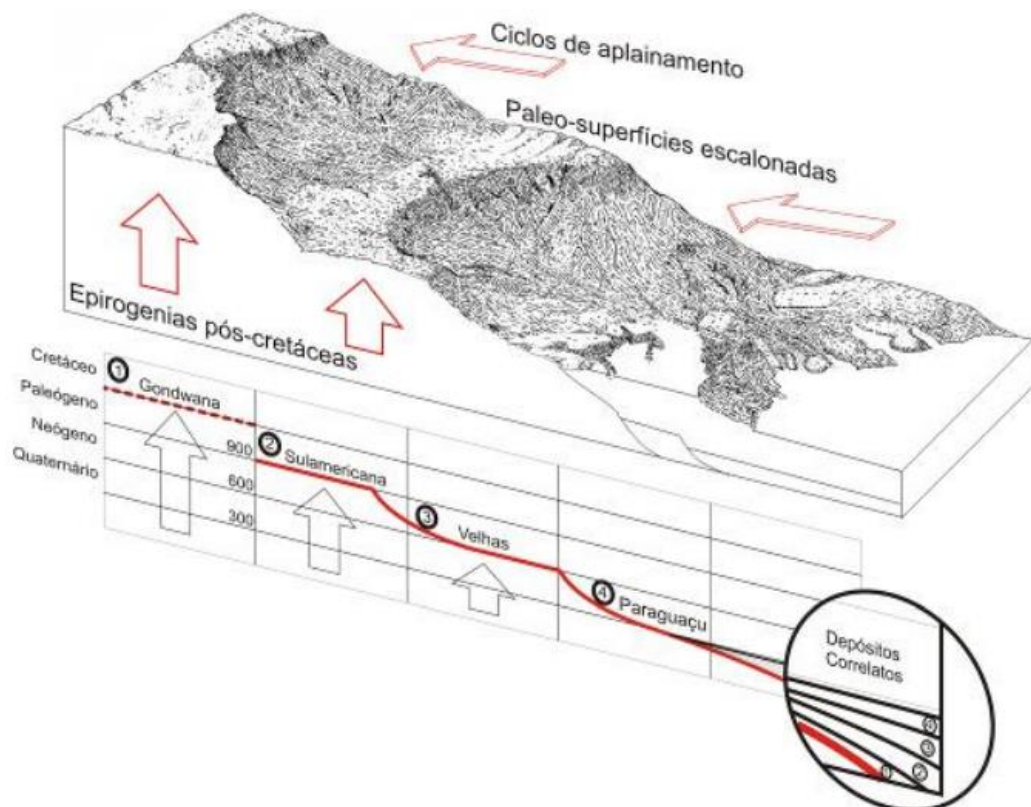
regional, NE-SW, formando vales encaixados, com controles indicando a reativação de antigas estruturas, com descida do nível de base a sudoeste e subida a noreste, ocasionando perda de nascentes fluviais e captura de drenagem.

4.5.3.2 Relevo em Conceição das Crioulas

A localidade de Conceição das Crioulas apresenta-se como um alvéolo rebaixado inserido no contexto da Depressão Sertaneja, que se caracteriza regionalmente a partir de uma topografia suavemente ondulada, intercalada por interflúvios. Estas superfícies mais elevadas ou cimeiras, têm relação a eventos orogenéticos que afetaram a Província Borborema durante o Pré-Cambriano, com a intrusão de corpos ígneos.

Existe localmente certa uniformidade topográfica que é interrompida pelos inselbergues e cristas residuais, que são testemunhos de antigas superfícies aplainadas por intensos ciclos de erosão que atingiram a região, dando origem a patamares topográficos escalonados Ab'Sáber e Bigarella (1961), (Figura 23).

Figura 23: Modelo de Pediplanação e Superfícies Escalonadas do Nordeste Brasileiro.



Fonte: Maia e Bezerra, 2009.

Ainda sobre este aspecto, Corrêa & Silva (2005) afirmam:

Conceição das Crioulas encontra-se numa depressão lito-estrutural com flancos limitados por serras alinhadas, que se elevam a mais de 700 metros de altitude. O interior da depressão apresenta relevo aplainado, sobre a qual atua a erosão linear, com mergulhos para SW, sendo contínua a diminuição das cotas altimétricas a partir da sua extremidade NE, onde as cotas giram em torno de 500 metros ou próximo a isso. A Serra das Crioulas, na porção centro-leste da área, é o ponto mais elevado com uma altitude que supera os 900 metros (CORRÊA & SILVA, 2005, p. 11).

Com base nas informações citadas acerca das duas localidades investigadas em Salgueiro, é pertinente pontuar que ambas apresentam uma configuração da paisagem geomorfológica similares, onde há uma predominância de feições pedimentares, que remontam a ocorrência de fases de denudação e aplainamento que agiram sobre o relevo do semiárido nordestino, originando feições residuais, marcadas pela presença na superfície do embasamento cristalino, em sua maioria, associado a litologias metamórficas ou ígneas; herdadas de sucessivos eventos de intrusão ao longo do Proterozóico.

4.5.3.3 Relevo da Lagoa Uri de Cima e seu entorno

A Lagoa Uri faz parte da unidade geoambiental Depressão Periférica do São Francisco, apresentando uma configuração geomorfológica marcada pela presença de pediplanos, típicos de clima semiárido (Figura 24), com cotas altimétricas que variam de 300 a 600 metros (SOUZA, 2018).

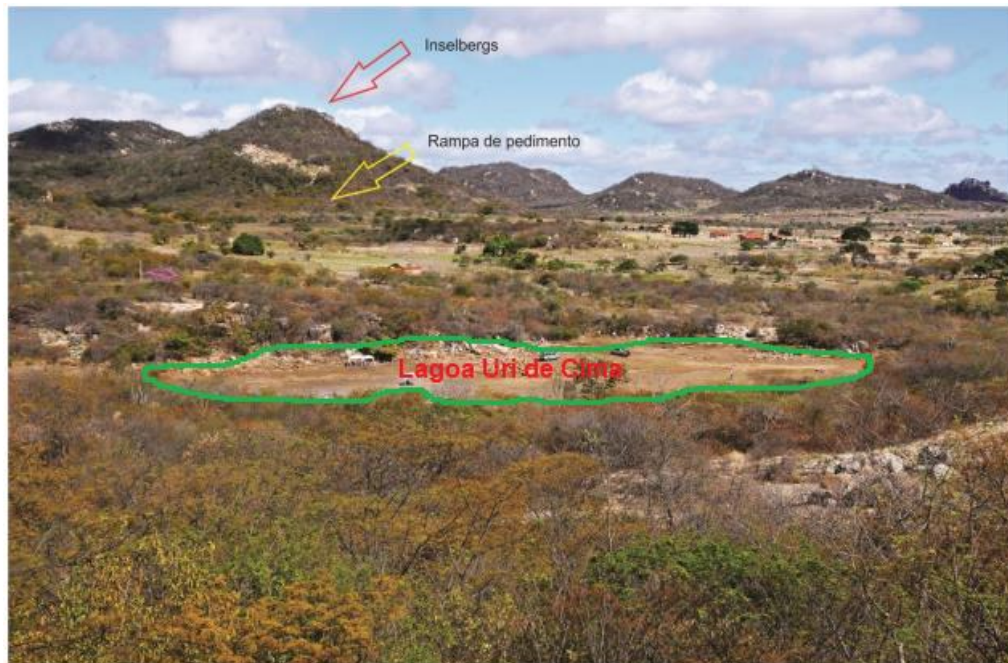
Ao largo dessas superfícies pediplanares cenozoicas são observadas elevações maiores que as cotas do entorno, os típicos inselbergs e serras alongadas, cujas rochas foram originadas durante o Ciclo Brasileiro. Essas rochas fazem parte da Suíte Intrusiva Shoshonítica Salgueiro/Terra Nova, dando origem a feições de relevo positivo expostas na paisagem em virtude de sua litologia ser mais resistente (PFALTZGRAFF *et. al*, 2002).

Sobre os aspectos de relevo local Mutzenberg *et al.* (2013) ressalta:

O Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima está situada em uma região marcada pela presença de inselbergs e maciços graníticos da suíte intrusiva Terra Nova. Encontra-se semiconectada à rede de drenagem por meio de um canal

exutório com pouca incisão inserido na bacia hidrográfica do Rio Terra Nova, que apresenta um regime intermitente (MUTZENBERG *et al.*, 2013).

Figura 24: Vista geral da Lagoa Uri de Cima, evidenciando aspectos geomorfológicos da área.



Fonte: Adaptado de Mutzenberg *et al.* (2013).

É possível afirmar que a paisagem geomorfológica das áreas selecionadas para a realização da pesquisa são caracterizadas por padrões de relevo que refletem desde a ocorrência de processos endógenos proterozóicos, sobretudo associados ao eventos orogenéticos e plutônicos, comuns à Zona Transversal, seguidos por intensa denudação e pediplanação, sobretudo nos contatos entre as bacias sedimentares intra-cratônicas, meso-paleozóicas, e as rochas cristalinas Pré-Cambrianas, onde é possível identificar a interação entre os elementos litológicos, tectônico-estruturais e climáticos.

4.5.4 Contexto pedológico

O solo é componente do quadro natural do espaço formado por meio da interação entre vários outros componentes do estrato terrestre. Ele é um elemento tridimensional, em constante dinâmica, correspondendo a um agrupamento de corpos naturais, constituídos por

partes sólidas, líquidas e gasosas, no qual os materiais minerais e orgânicos são preponderantes, ocupando a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, onde a matéria viva faz-se presente, podendo ser vegetados ou terem sido modificados por interferências antrópicas (EMBRAPA, 2009).

Para Press (2006) o solo, um dos nossos mais importantes recursos naturais, é composto por fragmentos de rocha, argilominerais formados pela alteração química dos minerais da rocha-matriz e pela matéria orgânica produzida por organismos que nele vivem. Desse modo, faz-se imprescindível tratar deste atributo da paisagem, visto que ele dialoga no tempo e no espaço com os demais elementos naturais, além de ser de grande relevância para a fixação de grupos humanos em determinadas áreas da superfície terrestre, sendo fundamental ao desenvolvimento de diversas atividades que permitem o desenvolvimento das sociedades como um todo.

Em se tratando do estado de Pernambuco, assim como ocorre com os outros elementos do quadro natural, os solos apresentam-se bastante variados, tanto que diz respeito a uma escala local, ou mesmo regional. Sobre isso Torres e Pfaltzgraff (2014) discorrem que em Pernambuco, do litoral até o sertão, percebem-se muitas diferenças ambientais ao longo de sua superfície, no que se refere a clima, relevo, altitude, vegetação e geologia. Em consequência, mudam os tipos de solos, assim como as formas de uso e ocupação da terra, visto que determinadas áreas, a depender do tipo de solo existente, vão ser mais propensas ao desenvolvimento de cultivos com características condizentes com as propriedades físicas e químicas do solo.

Nas áreas de ocorrência das marmitas de dissolução, dentro do contexto do Agreste e Sertão no domínio semiárido, é comum encontrar algumas classes de solos bem característicos, tais como: Neossolos litólicos, Luvisolos, Planossolos, Neossolos Quartzarênicos e Cambissolos. Estas classes comuns aos ambientes secos seguem um padrão predominante no que diz respeito ao grau de amadurecimento e propriedades, pois em geral não são maduros ou bem desenvolvidos, visto que as condições climáticas e edáficas vigentes são um contraponto ao seu amadurecimento. Este fato está relacionado à menor presença de minerais neoformados (argilominerais) existentes no solo e/ou ausência de algum horizonte. Estas classes de solo citadas podem apresentar pequenas variações de uma localidade para outra, porém de um modo geral suas propriedades físicas e químicas são típicas de ambientes secos (áridos ou semiáridos).

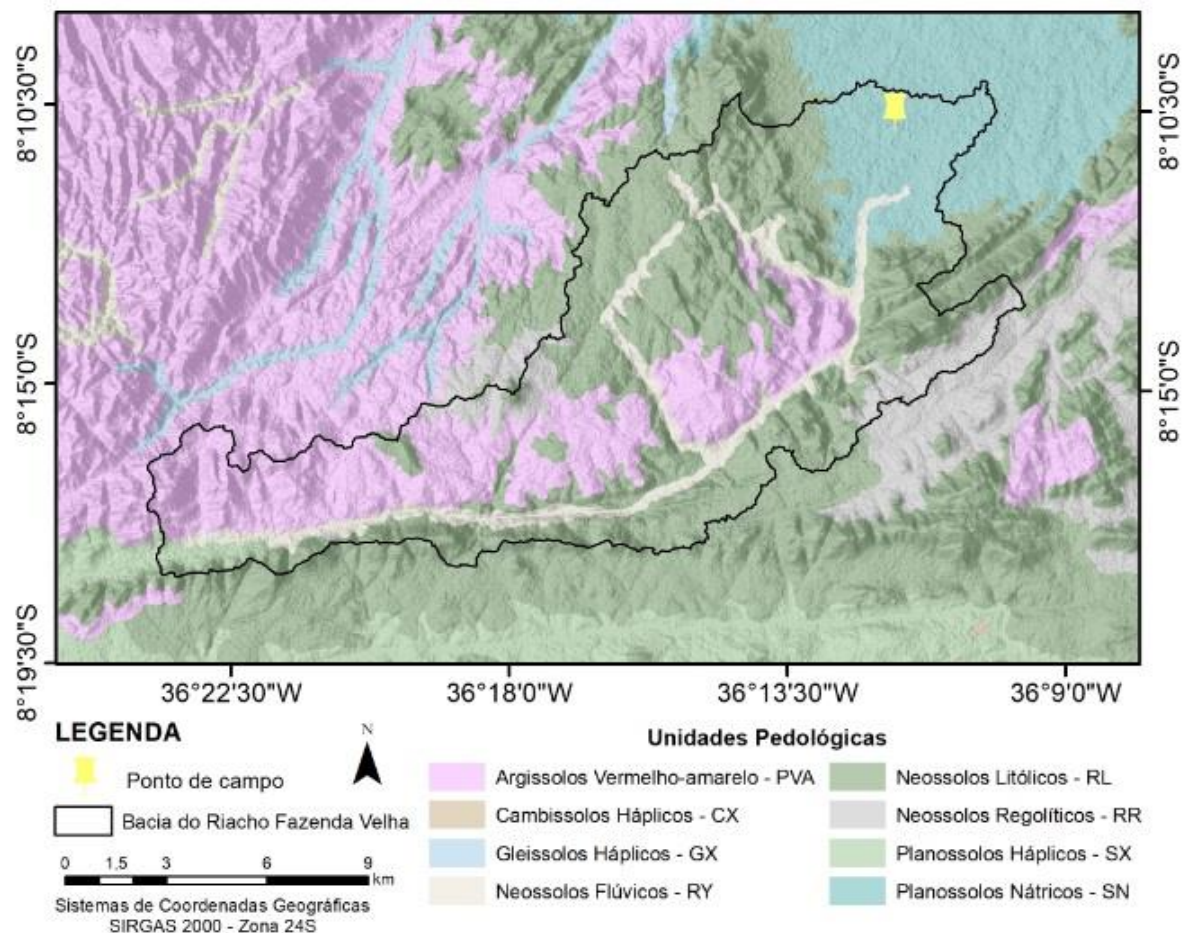
4.5.4.1 Pedologia do Distrito de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus - PE

O município de Brejo a Madre apresenta um mosaico bastante heterogêneo no que tange as classes pedológicas existentes. Segundo Jatobá et al. (2019) apesar do número razoável de tipos de solos *in situ*, nota-se claramente a maior presença dos Argissolos nas áreas com cotas altimétricas mais elevadas, e dos Planossolos nos terrenos de cotas menos elevadas, em baixas vertentes, onde o relevo é suavemente ondulado.

Todavia, em se tratando do Distrito de Fazenda Nova, a Embrapa (2001) detalha a ocorrência predominantemente dos Planossolos Sódicos ou Nátricos (Figura 25). Estes solos são de um modo geral, rasos a pouco profundos, com horizonte superior de textura fina e permeável, mal drenados, com fertilidade natural média, que muda abruptamente para um horizonte subsuperficial compacto e quase impermeável. É importante pontuar ainda que este solo apresenta problemas com o acúmulo de sais.

Quanto aos solos no contexto local das marmitas de dissolução, em especial aquelas preenchidas por sedimento, Silva *et al.* (2017) afirma que estas apresentam, algumas vezes, em seu eixo deposicional solos do tipo vertissolo constituindo seu material de preenchimento mais superficial, em boa sintonia com as condições semiáridas vigentes.

Figura 25: Classes de solos predominantes no contexto da bacia do Riacho Fazenda Velha, onde o Distrito de Fazenda Nova está inserido.



Fonte: EMBRAPA, 2001

4.5.4.2 Pedologia do Distrito de Conceição das Crioulas, Salgueiro - PE

Em termos pedológicos, Salgueiro possui grande variedade de tipos de solos. De acordo com Silva (2007) ocorrem as seguintes classes no território do município: Areias Quartzosas, Bruno Não Cálculos, Cambissolos, Planossolos e Solonetz Solodizados, Podzólicos Amarelos, Podzólicos Vermelho-Amarelo, Podzólicos Vermelho-Escuro, Regossolos, Solos Aluviais, Solos Litólicos, Vertissolos e ainda Afloramentos Rochosos.

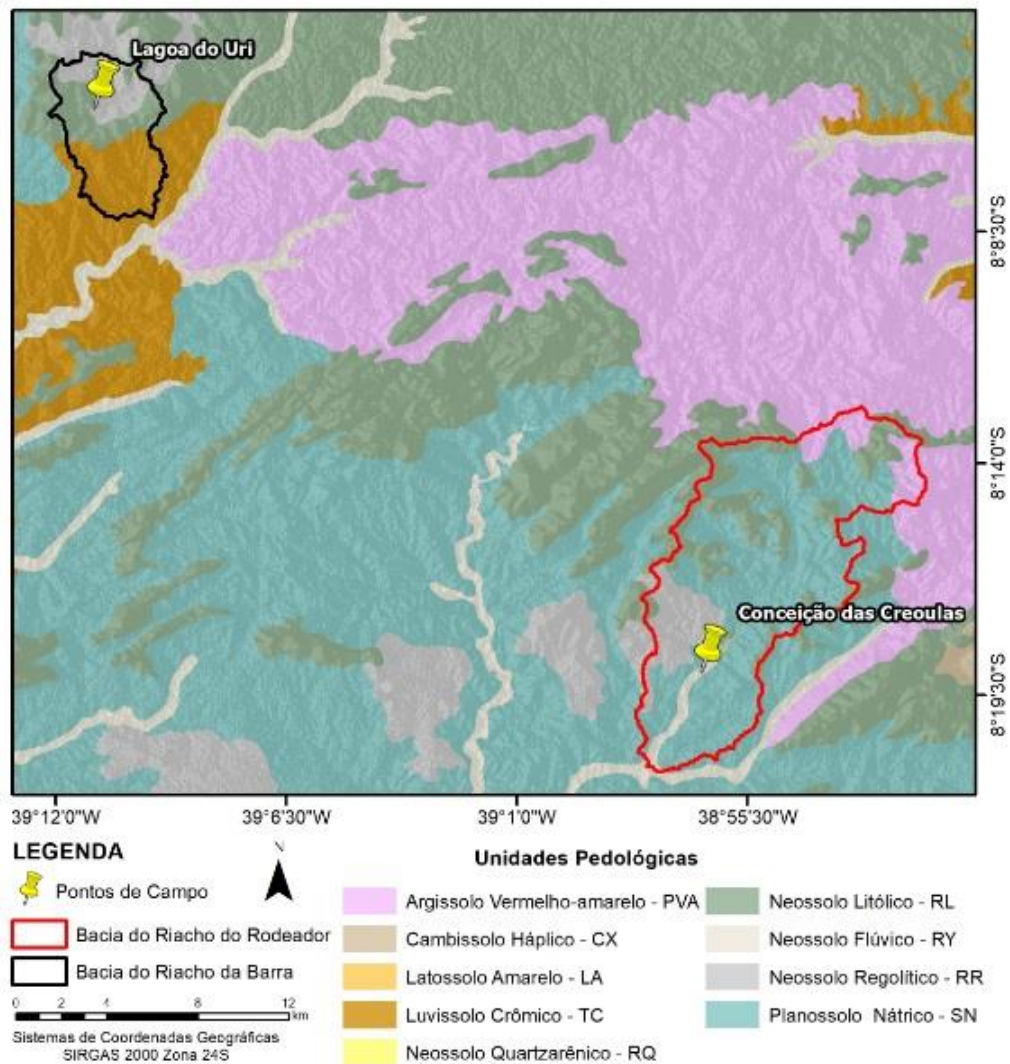
Contudo, no território quilombola de Conceição das Crioulas a classe de solo predominante é o Planossolo Nátrico (SN) (Figura 18). Estes solos possuem alta saturação por sódio, estrutura prismática ou colunar. O gradiente textural elevado causa grande suscetibilidade à erosão, também favorecida pela baixa permeabilidade do horizonte B, devido à alta concentração de sódio. O caráter salino concomitantemente com a elevada saturação por sódio, podem torná-los inaptos para a agricultura, sendo mais recomendados para pastagem (EMBRAPA, 2002).

4.5.4.3 Pedologia da Lagoa Uri de Cima e seu entorno, Salgueiro - PE

A segunda área de investigação no município de Salgueiro, Sítio Arqueológico e Paleontológico Lagoa Uri de Cima, apresenta um contexto pedológico marcado pela presença de solos arenosos e afloramentos rochosos (MÜTZENBERG *et. al.*, 2013).

Com base nos dados do levantamento do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE), o solo predominante na área onde a Lagoa está inserida é o Neossolo Regolítico - RR (Figura 26), que se caracteriza por ser pouco desenvolvido, não hidromórfico e de textura normalmente arenosa, apresentando alta erodibilidade principalmente em declives mais acentuados.

Figura 26: Classes de solos predominantes nas bacias do Riacho do Rodeador e Riacho da Barra, no contexto do recorte das áreas de estudo, em Salgueiro – PE.



Fonte: Os autores, 2019.

Sobre isso Mützenber et. al. (2013) afirma:

Na superfície da lagoa, evidencia-se um solo escuro, rico em matéria orgânica, contendo clastos na fração bloco, dispersos e intemperizados. Nessa camada, encontram-se gretas de dissecação, nódulos carbonáticos e forte presença de mosqueamento, o que atesta seu caráter hidromórfico. Sua espessura é de aproximadamente 60 cm, constituindo um vertissolo com estrutura piramidal e textura argiloarenosa. Sua formação deriva da pedogenização de corridas de lama, características do sistema pedogenético semiárido contemporâneo, com concentração de argilas expansivas, responsáveis pelo fendilhamento superficial (Mützenber et. al., 2013).

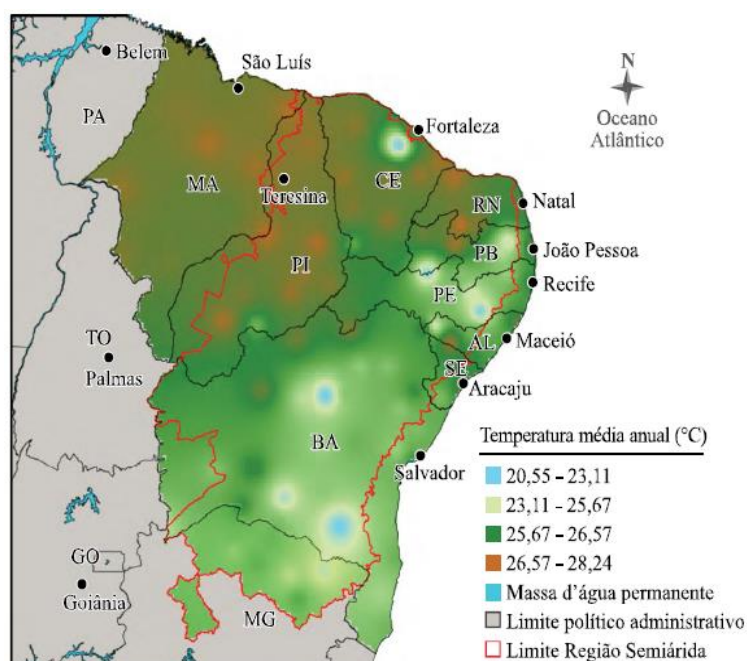
4.5.5 Contexto climático

4.5.5.1 Aspectos gerais do clima da região Nordeste

A região Nordeste do Brasil apresenta um mosaico de tipos climáticos, embora todos se encaixem na faixa de climas tropicais, com temperaturas elevadas (Figura 27). Estes climas variam de uma área para outra em virtude da ação de diferentes elementos e fatores. Os tipos climáticos distinguem-se uns dos outros, principalmente, em virtude das diferenças nos valores pluviométricos, embora variações no demais elemento do clima (temperatura, pressão, umidade, etc.) também sejam importantes para sua caracterização.

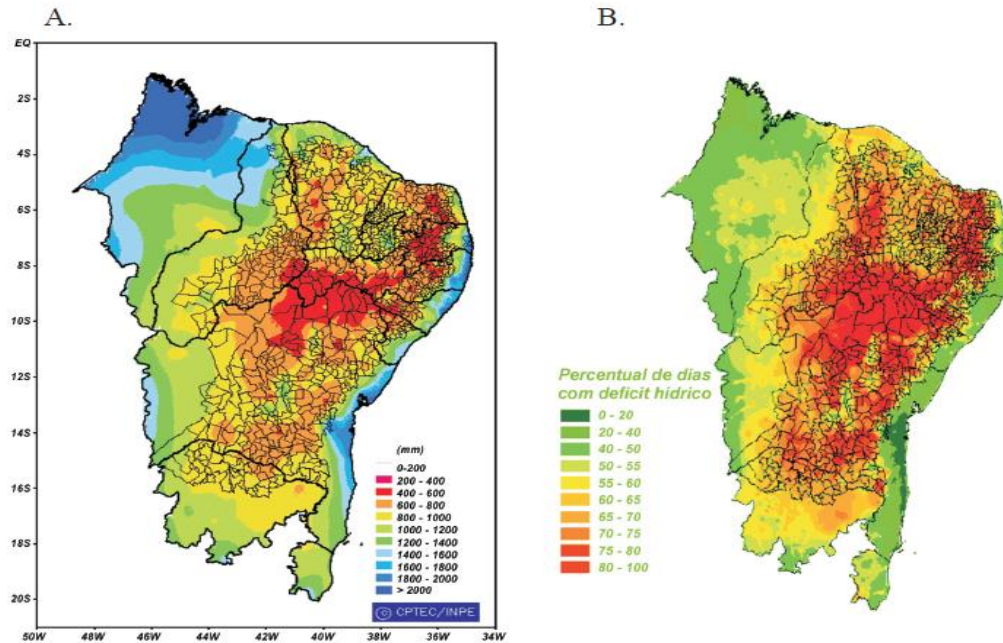
As chuvas na região Nordeste do Brasil, principalmente na porção semiárida, são caracterizadas por uma grande variabilidade espacial e temporal, no geral com baixos índices pluviométricos (Figura 28), na qual a estação chuvosa é restrita a poucos meses do ano (NEVES *et al.*, 2016). Neste sentido, é importante mencionar que a variabilidade interanual da distribuição das precipitações pluviométricas no Nordeste, no que diz respeito à escala espaço-temporal, está diretamente relacionada com a dinâmica de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico (MOLION & BERNARDO, 2002).

Figura 27: Climatologia da temperatura média anual no semiárido brasileiro para o período de 1981 a 2010.



Fonte: Dados do INMETE (2019), elaborado por ETENE/Banco do Nordeste.

Figura 28: Mapa de precipitação no período de 1961 - 1990 em mm (A), e percentual de dias com déficit hídrico no período 1970 - 1990 em % (B).

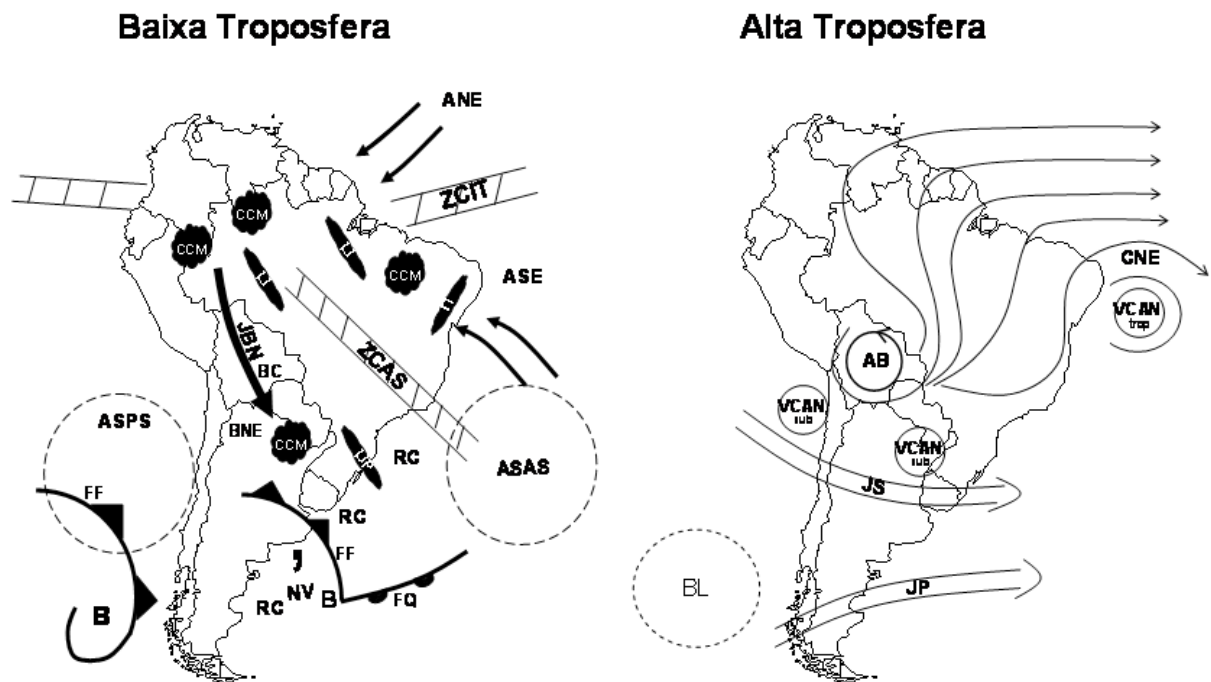


Fonte: PROCLIMA: www.cptec.inpe.br/proclima.

Pelo fato da região se situar na faixa das baixas latitudes, a implicação primeira reside nas temperaturas elevadas, embora em localidades específicas de brejos, façam-se presentes climas com temperaturas mais amenas, em decorrência do fator altitude, como ocorre em Triunfo, Taquaritinga do Norte, Garanhuns, Brejo da Madre de Deus, por exemplo, no estado de Pernambuco. Nos lugares citados, desenvolvem-se climas com características peculiares e distintos do que comumente verifica-se na região Nordeste, como um todo.

O contexto climático da região Nordeste é determinado pela atuação de vários condicionantes, sobretudo àqueles relacionados ao relevo, ação de correntes marítimas e, principalmente, da ação das massas de ar e dos vários sistemas atmosféricos, tais como ZCIT, DOL's, VCAN, FPA, ZCAS e ENOS (Figura 29).

Figura 29: Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.



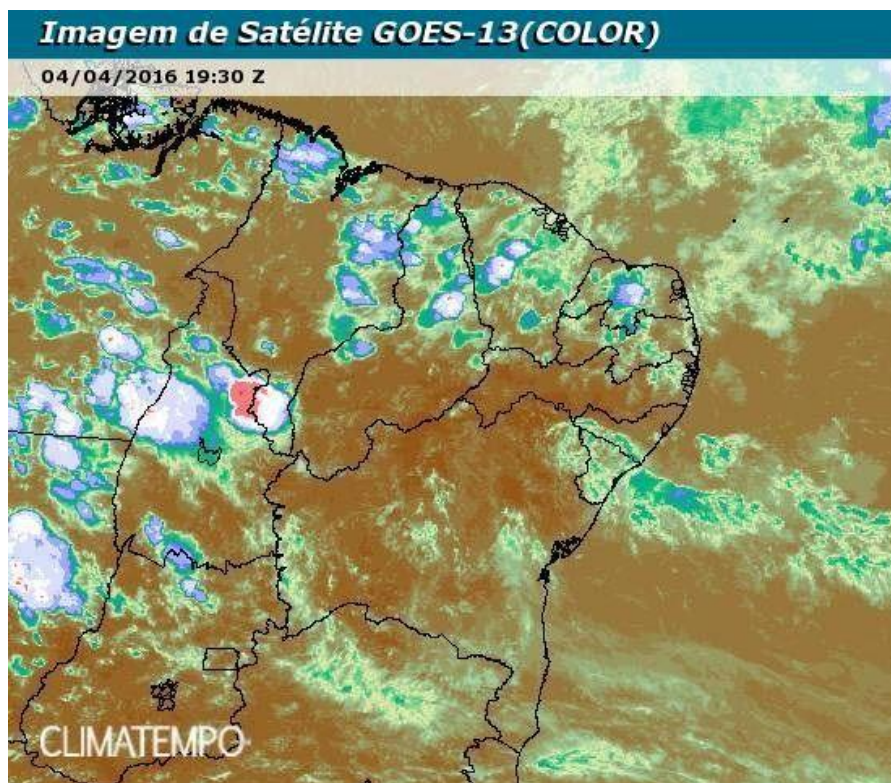
Em relação à baixa troposfera tem-se: ANE ventos alísios de nordeste, ASE ventos alísios de sudeste, ASAS anticiclone subtropical do Atlântico Sul, ASPS anticiclone subtropical do Pacífico Sul, B baixa pressão, BC baixa do Chaco – região de baixas térmicas, BNE região de baixas térmicas no noroeste argentino, CCM complexo convectivo de mesoescala, FF frente fria, FQ frente quente, JBN jato de baixos níveis a leste dos Andes, LI linha de instabilidade tropical, LIP linha de instabilidade pré-frontal, NV nuvem vírgula, RC regiões ciclogênicas, ZCAS zona de convergência do Atlântico Sul e ZCIT zona de convergência intertropical. Já em relação à alta troposfera tem-se: AB alta da Bolívia, BL região de bloqueios atmosféricos, CNE cavado do nordeste do Brasil, JS jato subtropical, JP jato polar, VCAN sub vórtices ciclônicos de altos níveis subtropicais, VCAN trop vórtices ciclônicos de altos níveis tropicais. É importante destacar que a AB e o CNE são sistemas que se configuram no verão e desaparecem no inverno. Fonte: Robita et al., 2010, adaptado de Satyamurty et al., 1998; pg. 125.

A ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) é o sistema mais importante no que tange a ocorrência de precipitações sobre a região equatorial do globo, seja nas porções oceânicas ou continentais (CAVALCANTI, *et al.*, 2009). Ela origina-se em baixos níveis da atmosfera pela convergência dos ventos alísios de nordeste, oriundos do Hemisfério Norte (HN), com os ventos alísios de sudeste, provenientes do Hemisfério Sul (HS), sendo um ramo ascendente da célula de circulação de Hadley (ASNANI, 1993).

Este sistema causa grande influência sobre a região Nordeste do Brasil, sendo o principal causador de precipitações sobre a porção setentrional da região Nordeste, mas não ficando limitado a este ponto, uma vez que a depender da energia desprendida pelos anticiclones dos Atlânticos Norte e Sul, ao longo das estações do ano, este sistema oscila para Norte ou para Sul, na faixa em torno do Equador, e causa chuvas sobre localidades mais ao Sul e oriental do Nordeste, tal como o estado de Pernambuco, sobretudo na porção semiárida, entre os meses de março a abril (Figura 30), mas podendo atuar também, mesmo que com

menos intensidade, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (CAVALCANTI, et al., 2009).

Figura 30: Imagem de satélite GOES-13 (color) com banda de nuvens relacionadas à ação da ZCIT sobre a região Nordeste do Brasil, no mês de abril de 2016.



Fonte: <https://www.climatempo.com.br>. Acesso em janeiro de 2020.

Faz-se pertinente tratar do sistema acima, visto que as precipitações decorrentes em Conceição das Crioulas e Lagoa Uri de Cima, no município de Salgueiro, ocorrem em períodos relacionados, em especial, a atuação da ZCIT sobre a região Nordeste.

O posicionamento da ZCIT, para a área de estudo, é de extrema importância, pois, dependendo da posição na qual se encontre, tanto pode inibir como favorecer a ocorrência de chuvas. Estudos observacionais realizados por Melo (1997) indicam a existência de ligação entre a ZCIT e as anomalias de chuva sobre o Nordeste, estando esta com sua posição mais ao sul (setor norte do Nordeste) durante os meses de março-abril, coincidindo com o máximo de precipitação sobre a região.

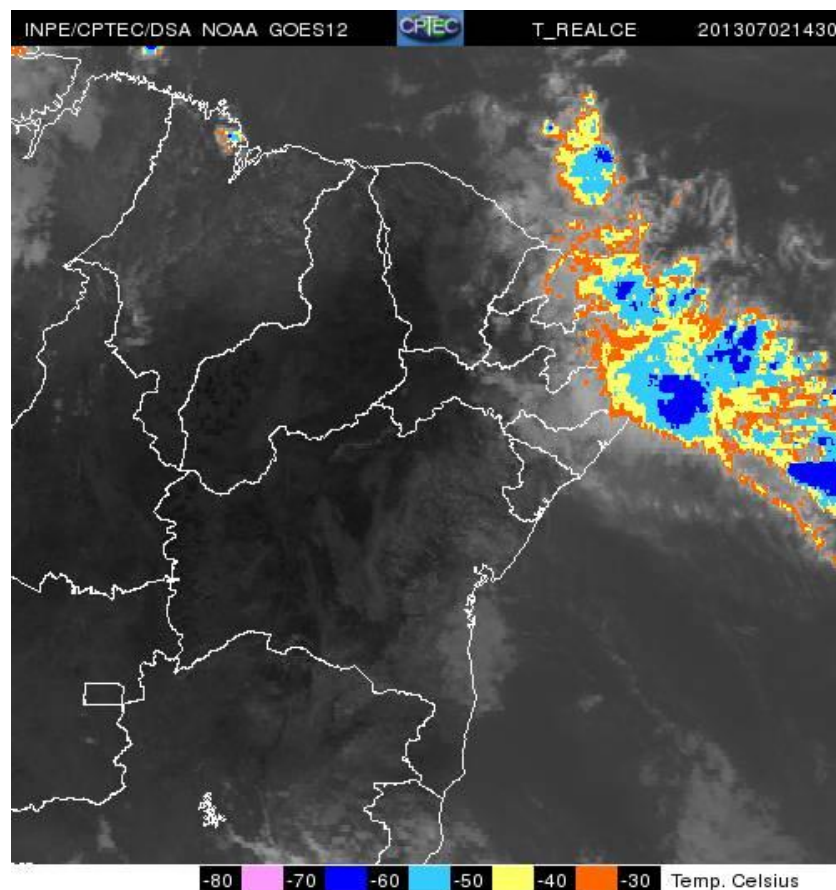
Outro sistema atmosférico decisivo para a configuração das características climáticas da Região Nordeste é o DOL's (Distúrbios Ondulatórios de Leste) ou Ondas de Leste (Figura 31). Este sistema pode ser definido, segundo a NOAA (Administração Nacional Oceânica e

Atmosférica), como um conjunto de sistemas de escala sinótica definidas como distúrbios em níveis baixos e de origem tropical que podem se desenvolver em ciclones tropicais (ASNANI, 2005), principalmente nas bacias do Atlântico tropical e do Pacífico oriental (COMET, 2014), e são responsáveis das chuvas importantes no Nordeste e Norte do Brasil (CAETANO, 2011). Os DOL's são distúrbios que se propagam para oeste na área dos ventos alísios, apresentando configurações ondulatórias nos campos de vento e pressão (BERRY et al., 1945).

De acordo com Ferreira e Mello (2005) o sistema supracitado provoca chuvas principalmente na Zona da Mata da região Nordeste que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, mas quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis, as Ondas de Leste também provocam chuvas no estado do Ceará nos meses de junho, julho e agosto, principalmente na parte centro-norte do estado.

Embora o DOL's tenha uma atuação mais restrita à porção oriental costeira da região Nordeste, em momentos de maior energia eles podem alcançar áreas do Agreste pernambucano, onde está situado o município de Brejo da Madre de Deus.

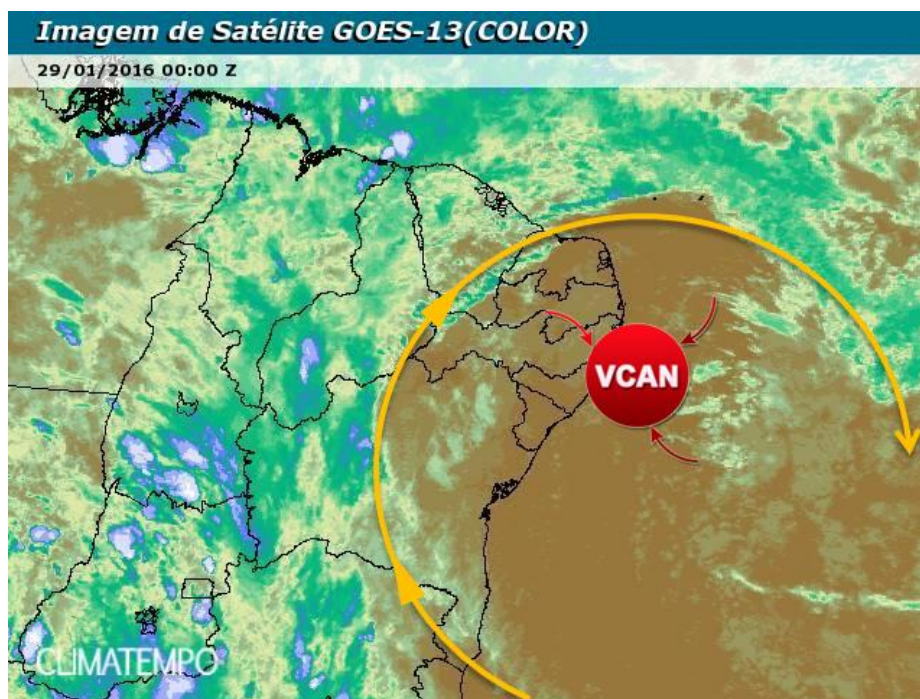
Figura 31: Imagem de satélite GOES-13 com banda de nuvens ação das Ondas de Leste sobre a porção oriental do Nordeste.



Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br>.

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), outro sistema atuante na região Nordeste do Brasil, formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste a oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro (GAN & KOUSKY, 1982). O tempo de vida desses sistemas varia em média, entre 7 a 10 dias. Os VCANs (Figura 32) podem ser entendidos como um conjunto de nuvens, que observado pelas imagens de satélites, têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsidiência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens (FERREIRA & MELLO, 2005).

Figura 32: Ação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) sobre o Nordeste do Brasil.



Fonte: <https://www.climatempo.com.br>, acesso janeiro de 2020.

Outro sistema atmosférico importante para o entendimento da dinâmica climática do Nordeste brasileiro é a FPA (Frente Polar Atlântica), que consiste em um ramo da Massa Polar Atlântica que avança pelo litoral e, quando em associação com a mTa, atua em grandes extensões do litoral brasileiro, do Sul ao Nordeste do Brasil (BORSATO & MENDONÇA, 2015). Este sistema causa instabilidade meteorológica na porção oriental da região Nordeste, e quando a energia desprendida por este sistema, em momentos em que o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul está com mais energia, a FPA pode penetrar para interior do estado de Pernambuco, até o Agreste. Esta frente pode atuar nesta porção do estado ao longo do

outono-inverno, provocando chuvas, o que mostra sua importância para a determinação do regime pluviométrico da área.

Ainda sobre a ação da FPA, vale destacar que o máximo de precipitação pluvial no sul da região Nordeste está associado à penetração de frentes frias vindas do extremo meridional do planeta, que em decorrência da grande energia, vinculadas às temperaturas mais baixas das águas do Atlântico Sul. Tal ação atinge latitudes mais baixas nos meses de novembro a fevereiro, podendo causar, em ação concomitante com outros sistemas, intensos aguaceiros na região, principalmente na porção oriental (ALVES & KAYANO, 1991).

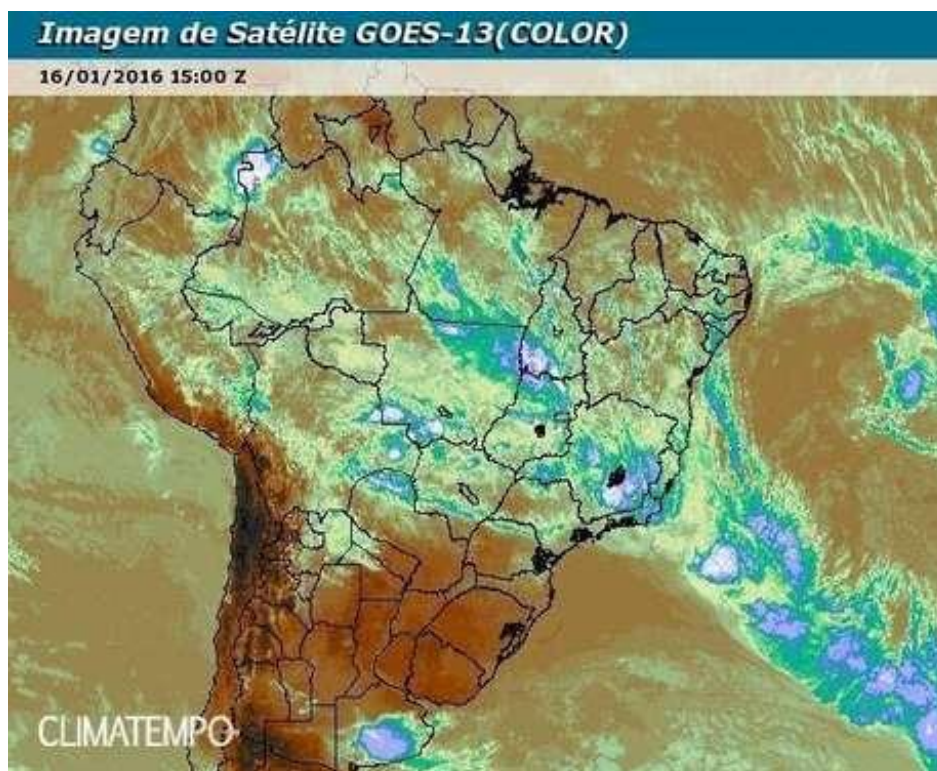
A ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) de acordo Carvalho et al. (2004) caracteriza-se como uma banda de nebulosidade e chuvas persistentes com orientação NO-SE que se estende desde o sul e leste da Amazônia até a região Sudeste do Brasil e, com frequência, sobre o Atlântico Subtropical (Figura 33). Embora tenha uma atuação menos importante sobre o Nordeste, pode ser mencionada, sobretudo por ser causadora de instabilidade atmosférica no sul do Nordeste, quando associada a outros sistemas de larga ou meso-escala. Como é o caso dos sistemas frontais estacionários alimentados pela umidade proveniente do Atlântico Sul, que definem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os sistemas pré-frontais, convecção local e brisas marítimas e terrestres (DOS SANTOS et al., 2019).

Vários autores também mostraram que a intensificação da ZCAS está relacionada com outros sistemas, tais como os sistemas frontais e a Alta da Bolívia (FERREIRA et al., 2004). Estudos realizados por estes autores mostraram uma relação entre a atividade oceânica da ZCAS e o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), de modo que fases quentes do ENOS tendem a favorecer a persistência da ZCAS oceânica mais intensa. A ZCAS, por meio de sua organização e evolução espacial, variabilidade e consequências ambientais mostra-se um fenômeno de grande relevância e seu melhor entendimento depende da compreensão das interações entre regiões tropicais e extratropicais e da complexidade das relações entre sistemas acoplados em diferentes escalas espaço-temporais.

Para finalizar este tópico de revisão sobre os sistemas atmosféricos atuantes no contexto do clima do Nordeste, será discutida a ação do ENOS (El Niño-Oscilação Sul), uma vez que ele tem estreita relação com a dinâmica climática da região. Segundo Aragão (1998) o ENOS são um fenômeno de escala global resultante da interação oceano-atmosfera. No que diz respeito ao ENOS, Andreoli et al. (2004) afirmam que o mesmo caracteriza-se pela ocorrência de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico equatorial central e leste anormalmente positivas (El Niño) em uma fase e negativas (La Niña). Há uma conexão

dinâmica entre esta componente e à Oscilação Sul, que se reflete como uma gangorra barométrica com centros de ação na Indonésia e no Pacífico sudeste.

Figura 33: Ação ZCAS sobre o território brasileiro.



Fonte: <https://www.climatempo.com.br>, acesso janeiro de 2020.

Nóbrega e Santiago (2014) alertam para o fato de haver vários estudos que procuram relacionar a ocorrência de El Niño com as secas severas no Nordeste do Brasil (NEB), visto que diversos estudos têm apontado para esta compreensão (LIRA, 2014; CABRAL, 2014). Neste contexto, o El Niño seria capaz de produzir centros ciclônicos e forte subsidência sobre o Norte e Nordeste da América do Sul. Essa subsidência, segundo Melo et al. (1997), enfraquece a ZCIT e a convecção sobre o Nordeste, diminuindo assim as chuvas.

Esta dinâmica climática complexa comum ao Nordeste do Brasil, a partir da ação de vários sistemas, onde muitos deles não atuam de forma regular sobre todo território regional, favorece a ocorrência de diferentes tipos de clima, como já mencionado. A ação irregular consiste no alcance e intensidade de interação deste como outros elementos das paisagens das localidades estudadas, o que favorece a vigência de climas secos e quentes, fator que influencia decisivamente na gênese das marmitas de dissolução, objeto de estudo da pesquisa em curso.

4.5.5.2 Aspectos do clima em Fazenda Nova

Brejo da Madre de Deus localiza-se no Agreste de Pernambuco, no domínio do clima semiárido. As condições climáticas verificadas no município variam entre semiaridez severa, nas cotas altimétricas mais baixas, até condições menos extremas de semiaridez nas cotas mais elevadas (SILVA, 2007).

Com base na análise de dados da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) o município de Brejo da Madre de Deus apresenta um clima BShs' (semiárido com chuvas escassas, com máximas pluviais no período de outono-inverno). As precipitações são superiores a 800 mm/ano, com chuvas concentradas entre os meses de março a julho. Todavia, o Distrito de Fazenda Nova, localidade onde se deu a investigação, propriamente dita, apresenta um panorama de chuvas distinto do contexto geral do município, visto que as médias pluviométricas giram em torno de 550 mm/ano, com período seco de 7 a 8 meses, e precipitações concentradas nos meses de março a julho (Tabela 02).

Tabela 02: Dados de precipitação média em mm de Brejo da Madre de Deus e Distrito de Fazenda Nova - PE.

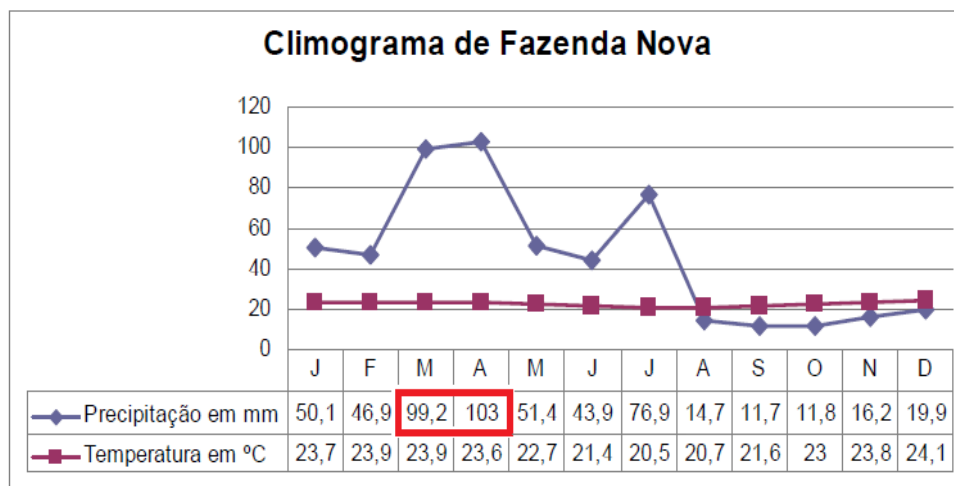
Meses	Fazenda Nova	Brejo da Madre de Deus
Jan	52	56
Fev	47	75
Mar	99	136
Abr	102	130
Mai	51	99
Jun	42	90
Jul	80	85
Ago	14	50
Set	12	39
Out	15	21
Nov	17	25
Dez	20	38
Total	551	844

Fonte: SILVA, 2007.

Sobre o contexto das precipitações, vale salientar que ocorre um grande volume de chuvas nos meses de março/abril (gráfico 01), em torno de 100 mm, e que esta grande carga pluviométrica tem relação com a atuação da ZCIT neste período, além da colaboração de

outros sistemas atmosféricos que se intensificam de forma quase concomitante, tais como o DOL's e a FPA (SILVA, 2007).

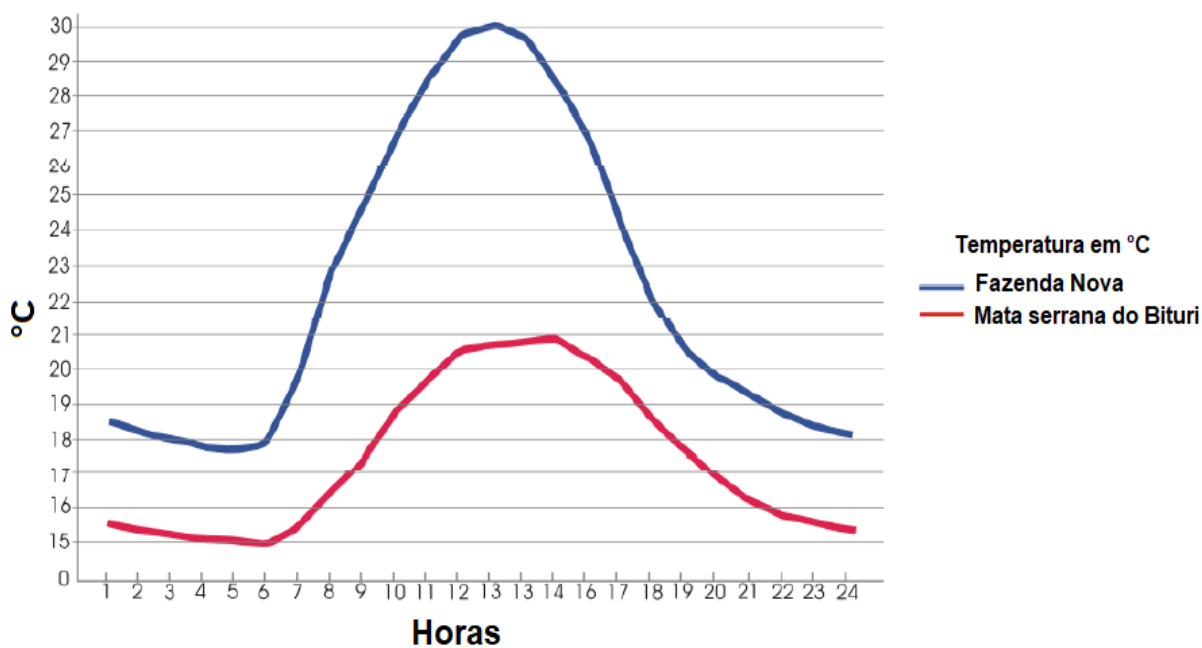
Gráfico 01: Climograma de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Modificado da Unidade de Ciências Atmosféricas - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – Universidade Federal de Campina Grande.

Em relação às temperaturas médias anuais para o Distrito de Fazenda Nova, Lyra (1982) afirma a que média anual é de 22,7°C, com médias máximas em novembro e dezembro de 31,7°C e mínima em agosto e setembro, de 17,9°C. Todavia, o município Brejo da Madre de Deus apresenta temperatura média anual de 22,2°C, com médias máximas mais elevadas entre dezembro e janeiro de 23,5°C, e mínimas entre julho, agosto e setembro, 16,5°C. Essas temperaturas mais amenas no contexto do município são decorrentes principalmente do efeito orográfico, comum a algumas áreas de brejo, a exemplo do que ocorre na área da mata serrana de Bituri, onde a exposição aos ventos úmidos provenientes do litoral provoca uma condição de maior umidade e temperaturas amenas (gráfico 02).

Gráfico 02: Variação média da temperatura do ar em °C para o mês de setembro/1981 para a mata serrana do Bituri e a área de caatinga de Fazenda Nova.



Fonte: Lyra (1982).

4.5.5.3 Aspectos do clima em Conceição das Crioulas e Lagoa Uri de Cima

O município de Salgueiro, no Sertão pernambucano, apresenta clima semiárido ou BShw', megatérmico quente e seco, chuvas escassas e irregulares, com máximas no período de verão que se retardam para o outono (KÖPPEN, 1948).

No que diz respeito a este aspecto, Pfaltzgraff et al. (2002) afirmam que o município apresenta índice de aridez de 68,36, com ocorrências de chuvas entre os meses de novembro e abril, tendo uma precipitação média anual em torno de 600 mm e uma temperatura média anual de 26°C, sendo janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 25.9 °C, e Julho o mais frio, com média de 21.4 °C (gráfico 03). Ainda sobre o contexto das chuvas, Oliveira (2008) apresenta dados de precipitações médias anuais menores para a localidade, afirmando que o volume anual gira em torno de 430 mm/ano, o que aponta para uma condição de semiaridez mais acentuada.

Gráfico 03: Variação de temperatura ao longo do ano no município de Salgueiro – PE.

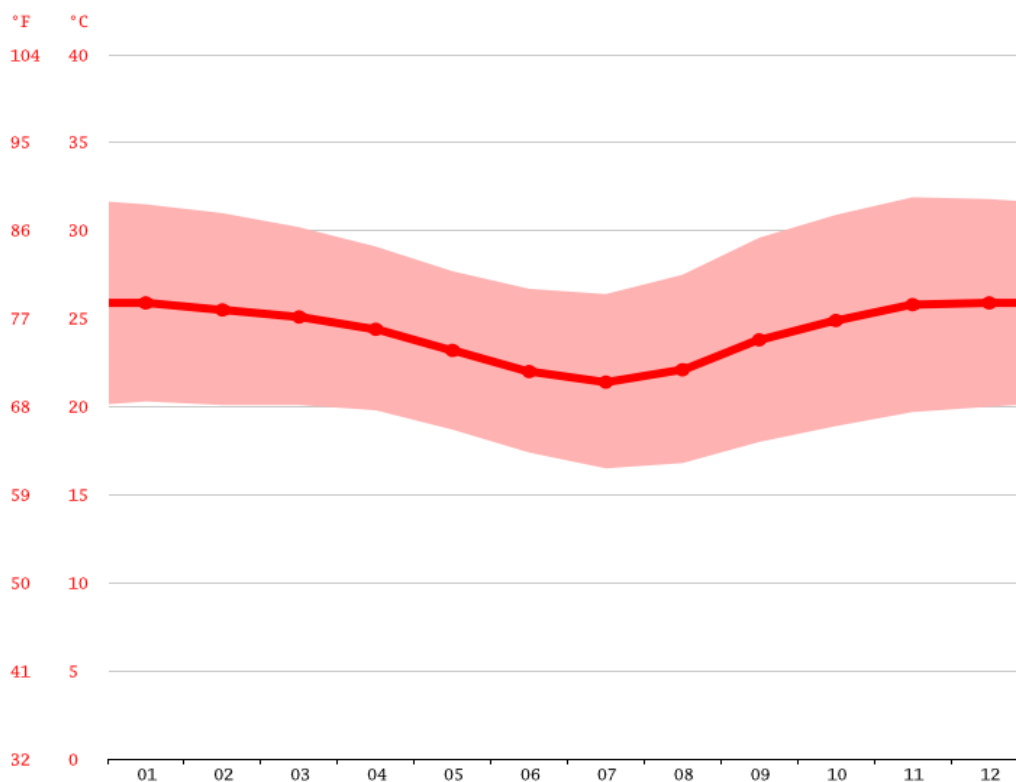
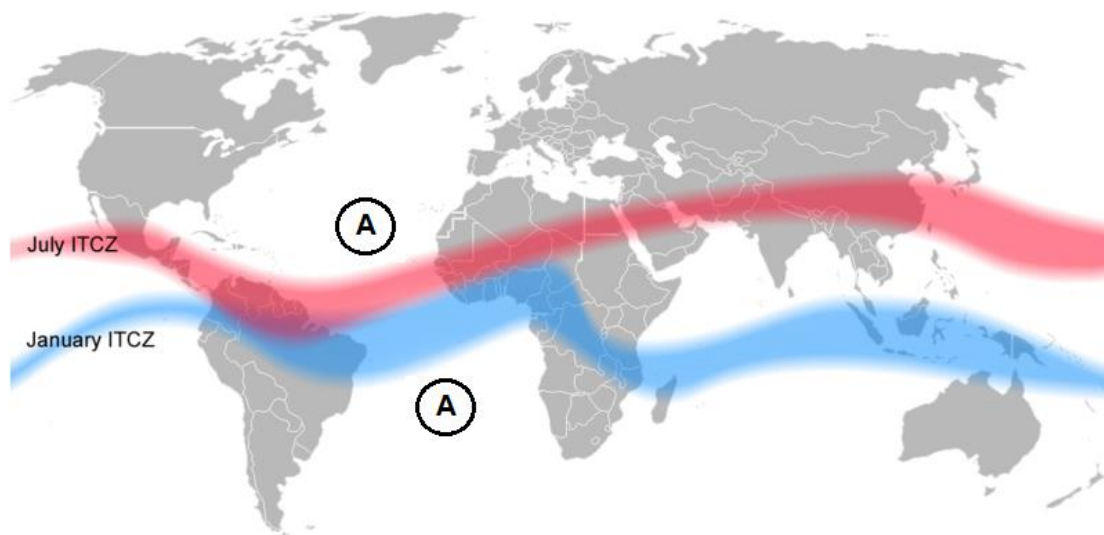


Gráfico 03: Os números de 1 a 12 representam os meses do. Fonte: Climate-Data.Org, Acesso em maio de 2020.

As condições pluviométricas da área estão subordinadas à ação da ZCIT, como já mencionado em tópicos anteriores, sobretudo no período de verão do hemisfério meridional e inverno no hemisfério boreal. Este fato condiciona uma TSM (Zona de Máxima Temperatura da Superfície do Mar) menor no Atlântico Norte, que torna o ar mais frio e denso nas baixas latitudes equatoriais, provocando aumento da energia de dispersão de ventos do Anticiclone do Atlântico Norte. Desse modo, com ventos mais fortes vindos do Norte, ocorre migração da ZCIT para o sul do Equador (Figura 34), que recai sobre o semiárido do Nordeste, causando grande instabilidade meteorológica e intensos aguaceiros. Águas mais quentes, no Atlântico Sul Tropical, e mais frias, no Atlântico Norte Tropical, estão associadas com anos chuvosos no Nordeste, o que demonstra a estreita relação entre a TSM e a ZCIT, com importantes implicações sobre o clima da região semiárida da região Nordeste e de Pernambuco (NOBRE & MOLION, 1986).

Figura 34: Posição da ZCIT nos meses de julho e janeiro, no contexto global.



Fonte: Commons. wikimedia.org

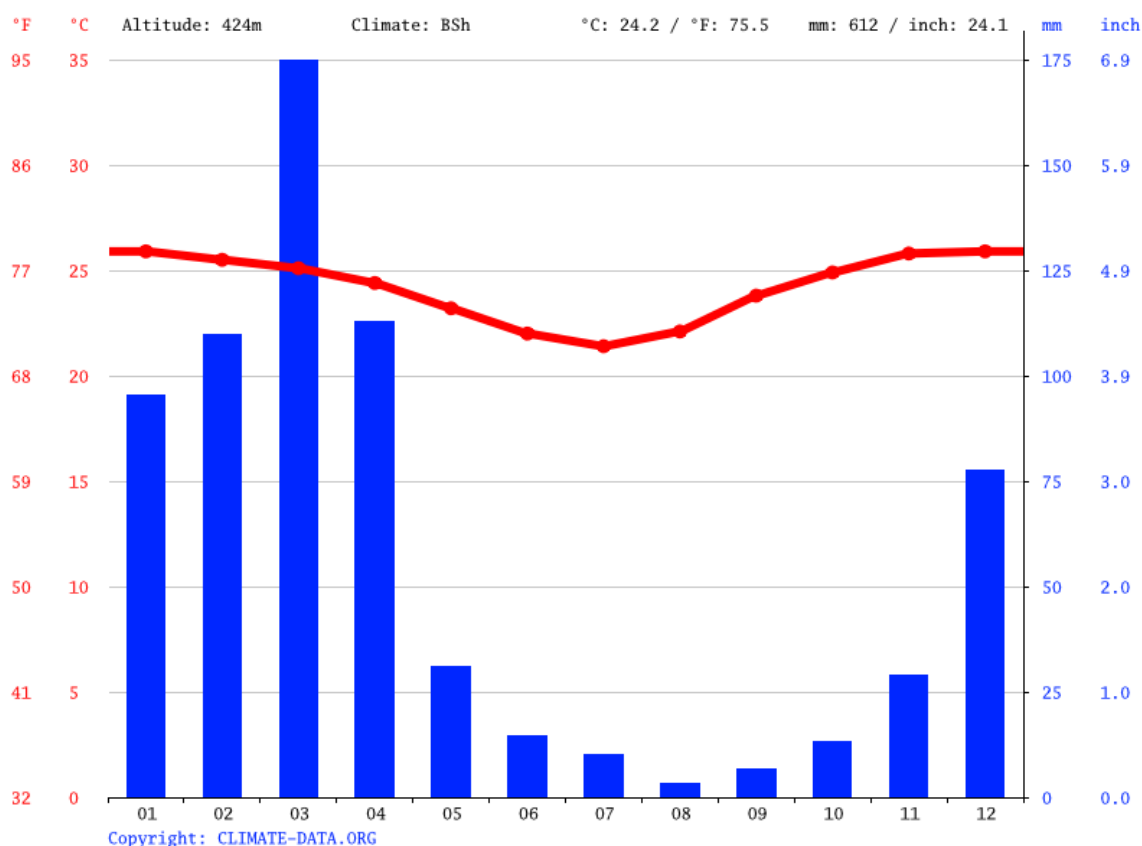
Ao se estabelecer sobre o Nordeste do Brasil, a ZCIT atua sobre a região semiárida, em especial ao longo dos meses de março e abril (MELO et al., 1997). Esta influência em nível regional também se manifesta em escala local, nos limites de Salgueiro, onde os meses mais chuvosos são março e abril, e os meses mais secos são agosto e setembro (Tabela 03, Gráfico 04)

Tabela 03: Dados de temperatura e precipitações médias anuais de Salgueiro – PE, no período de 1982 a 2012.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	25.9	25.5	25.1	24.4	23.2	22	21.4	22.1	23.8	24.9	25.8	25.9
Temperatura mínima (°C)	20.3	20.1	20.1	19.8	18.7	17.4	16.5	16.8	18	18.9	19.7	20
Temperatura máxima (°C)	31.5	31	30.2	29.1	27.7	26.7	26.4	27.5	29.6	30.9	31.9	31.8
Chuva (mm)	86	99	158	102	28	13	9	3	6	12	26	70

Fonte: Climate-Data.Org, Acesso dia 09 de maio de 2020.

Gráfico 04: Climograma do município de Salgueiro – PE.

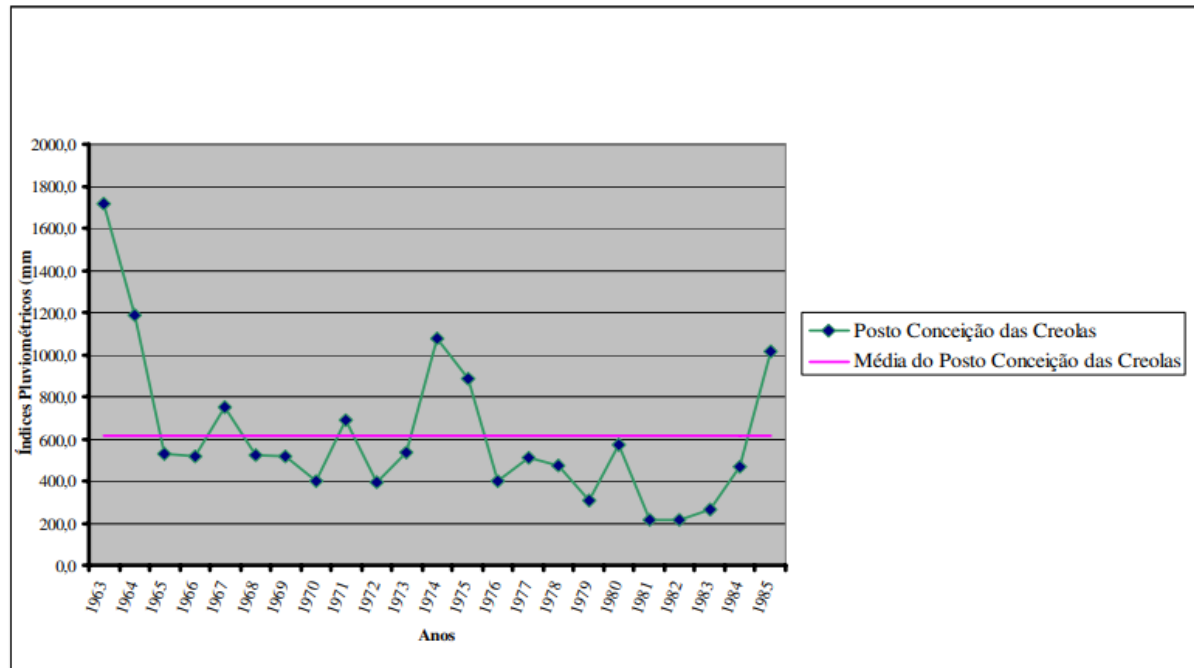


Fonte: Climate-Data. Org. 2020.
<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/pernambuco/salgueiro-43058>.

Os aspectos relacionados ao clima do município de Salgueiro, aqui abordados, podem ser reportados para as localidades de Conceição das Crioulas e Lagoa do Uri de Cima, com pequenas variações devido ao contexto geográfico local. A ação da ZCIT se destaca como sistema atmosférico principal, atuante na determinação das chuvas nas localidades citadas, onde as máximas pluviais ocorrem ao longo do verão e outono.

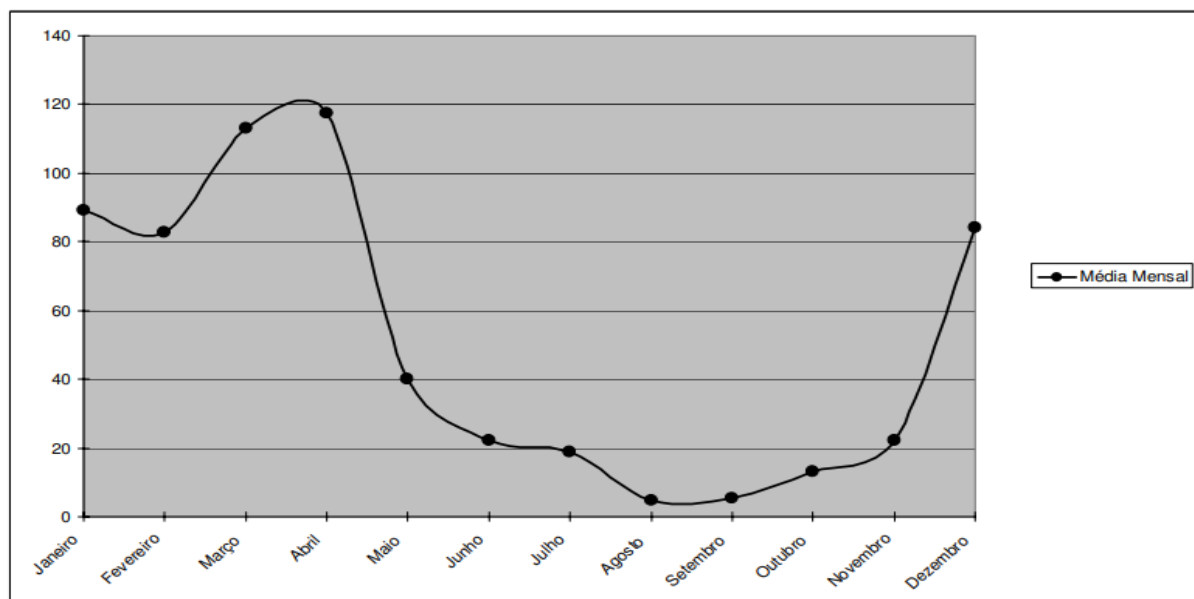
Em Conceição das Crioulas as médias de temperatura giram em torno de 25 ° C, sendo dezembro e janeiro os meses mais quentes. Os totais pluviométricos anuais giram em torno de 550 mm /ano, sendo abril e maio os meses mais chuvosos e outubro e novembro os mais secos (Gráficos 05 e 06).

Gráfico 05: Índices Pluviométricos Anuais - Posto Conceição das Crioulas- 1963/1985.



Fonte: SUDENE, 1990.

Gráfico 06: Pluviosidade média mensal - Posto Conceição das Crioulas - 1963/1985.



Fonte: SUDENE, 1990.

No gráfico 05 é possível verificar a concentração das máximas pluviais entre os meses de dezembro a maio, ou seja, período de verão/outono no hemisfério austral. Este período marca uma maior atuação da ZCIT na região onde está inserida a área investigada. Já na contramão, os meses com menores índices de chuvas são agosto e setembro.

Já no contexto da Lagoa do Uri e seu entorno, temos precipitações pluviométricas que variam de 450 a 600 mm por ano e temperaturas médias em torno de 26 °C. As chuvas nesta localidade concentram-se entre os meses de novembro e abril (MÜTZENBERG et al., 2013). Neste sentido, em virtude das características apresentadas, pode-se afirmar que o clima nesta área é BShw', segundo o que preconiza Köppen (1948). Em decorrência da marcante sazonalidade climática à qual está submetida, a Lagoa Uri de Cima fica preenchida por uma delgada lâmina d'água apenas nos meses chuvosos, estando seca na maior parte do ano (MACEDO, 2016).

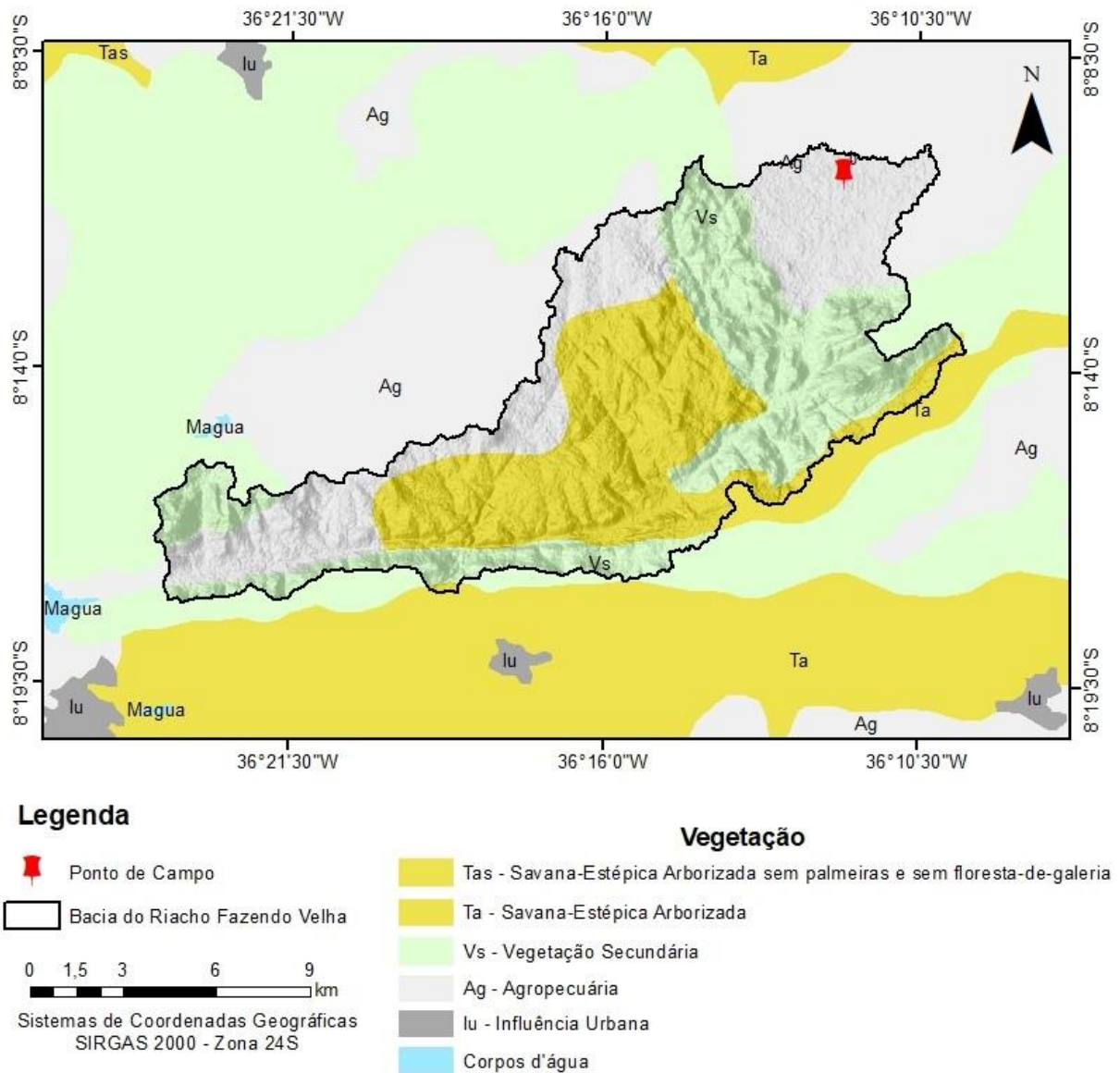
4.5.6 Contexto fitogeográfico

As áreas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa estão no domínio semiárido sob vegetação predominante de caatinga. Todavia, é importante distinguir que nas localidades de Conceição das Crioulas e Lagoa do Uri, por se situarem em área onde as condições de aridez são mais severas, predomina a caatinga do tipo hiper-xerófita, enquanto em Fazenda Nova, em Brejo da Madre de Deus, ocorre a caatinga hipo-xerófita, o que indica condições de semiaridez menos severas.

4.5.6.1 Aspectos da vegetação de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus – PE

No distrito de Fazenda Nova a cobertura vegetal (Figura 35) encontra-se diretamente relacionada às condições climáticas e edáficas da região. Tais condições contribuem para a distinção na estrutura das formações vegetais, no que diz respeito ao porte e diâmetro das espécies, número de estratos, índice de diversidade e ocorrência florística (SILVA, 2007).

Figura 35: Vegetação no contexto na bacia do Riacho Fazenda Velha, em Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Os autores, 2019.

Na Figura 35 acima é possível notar que a área escolhida para desenvolver a pesquisa em Fazenda Nova encontra-se alterada em decorrência da intervenção antrópica, que alterou a composição da vegetação potencial, identificada no mapa como Savana-Estépica (IBGE, 1992). Lyra (1982), tratando da diversidade desta formação vegetal, demonstrou que existe uma grande concentração de indivíduos pertencentes a poucas espécies (98%), dentre os quais a *T. streptocarpa* Baker e *T. recurvata* L. se destacam, como é possível verificar na tabela

(tabela 04). Para a autora, este fato se deve ao clima semiárido, tornando as condições ambientais altamente seletivas.

Tabela 04: Densidade absoluta das vinte espécies mais comuns, Fazenda Nova.

Espécies	Nome Popular	Densidade Absoluta
<i>Opuntia inamoena</i> K. Sch	Quipá	2.912
<i>Croton sonderianus</i> M. Arg.	Marmeleiro	1.199
<i>Opuntia palmadora</i> Br. et Rose	Palmatória	522
<i>Lippia</i> sp.	Alecrim	466
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	433
<i>Aealypha multicaulis</i> M. Arg.	Espeta piaba	301
<i>Neoglaziovia variegata</i> (Arr. Cam.) Mez	Caroá	248
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Catingueira	240
	Malva branca	221
<i>Mimosa</i> sp.	Jurema de bode	173
<i>Encholirium spectabile</i> Mart. Ex Schult.	Macambira de lajedo	133
<i>Bursera leptophloeos</i> Engl.	Imburana	107
<i>Bromelia laciniosa</i> Mart.	Macambira	101
<i>Jatropha ribifolia</i> Baill.	Pinhão I	85
Ducke	Jurema branca	80
<i>Pilosocereus</i> sp.	Facheiro	67
<i>Cordia globosa</i> H.B.K	Moleque duro	50
<i>Jatropha pohliana</i> M. Agr.	Pinhão II	41
<i>Lantana canescens</i> H.B.K	Camará	29
	Burra leiteira	21

Fonte: Modificado de Lyra (1982).

Entretanto, ao analisar o perímetro da sede municipal em Brejo da Madre de Deus, em cotas a partir de 650 metros, observa-se uma formação vegetal distinta, composta por uma comunidade fitológica onde há a presença de espécies típicas de brejo de altitude, com ocorrência de famílias adaptadas às condições de maior umidade. Esses “enclaves”, com dimensões restritas, dificilmente ultrapassam 5% da área total do domínio das caatingas, contribuindo assim para enriquecer a fisionomia regional (ANDRADE-LIMA, 1957). Sobre o tema, Andrade-Lima (1957) acrescenta que a variação de altitude, as características pedológicas e os índices pluviométricos combinados fazem com que a fito-fisionomia varie bastante no contexto do município, tornando a paisagem vegetal da área estudada bastante complexa.

Lyra (1982) trabalhando com a mata serrana do Bituri, Brejo da Madre de Deus, constatou que a vegetação possui uma maior diversidade em relação à área da caatinga (111%) e evidência ainda que a flora de Brejo da Madre de Deus apresenta espécies comuns a outras áreas de brejo de altitude, como se observa na tabela 05. Este fato, segundo Corrêa (1997), demonstra que talvez condições pretéritas possam ter conduzido a ligação dessas vegetações com outros tipos florestais da fachada oriental do continente.

Tabela 05: Semelhança da ocorrência de espécies da flora de Brejo da Madre de Deus em outras áreas de mata serrana.

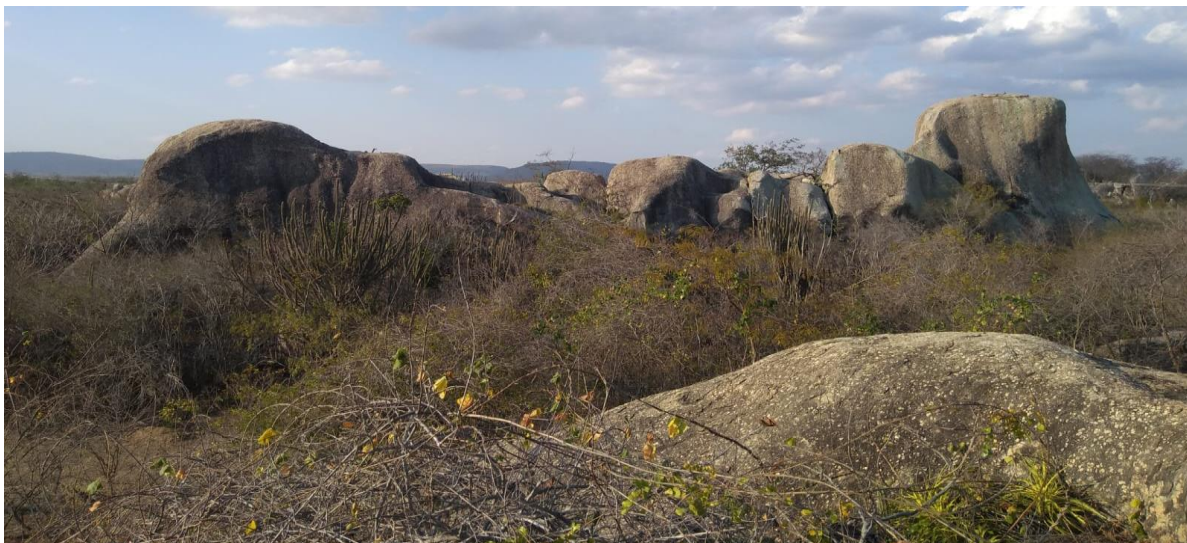
Espécie	Localidade
<i>Pithecellobium polycephalum</i>	Serra Negra (Floresta) – PE
<i>Geonoma blanchettiana</i>	Gravatá e Taquaritinga do Norte – PE; serra de Patacuba e encosta da serra de Mamanguape – CE.
<i>Guettarda angélica</i>	Triunfo e Serra das Varas - PE
<i>Gochinatia lúcida</i>	Gravatá e Taquaritinga do Norte – PE; Morro do Chapeu – BA.
<i>Lamanoniaspeciosa</i>	Brejo dos Cavalos (Caruaru) – PE; Serra da Cantareira – SP; Vista Chinesa – RJ.
<i>Inga aff. Subnuda</i>	Serra Negra (Floresta) - PE

Fonte: Lyra (1982).

A partir do que foi discutido, pode-se concluir que devido à sua localização, no domínio das terras secas do Agreste pernambucano, e associação entre os diversos atributos da paisagem natural de Brejo da Madre de Deus, faz-se desenvolver a vegetação de caatinga, que se apresenta de forma bastante diversa nas diferentes localidades, podendo variar no que tange ao seu porte, densidade e tipos de espécies. Tal variação depende, como já citado, das interações *in situ* entre os elementos abióticos e bióticos.

No que tange esta variedade fitogeográfica, Sales et al. (1998) descrevem a vegetação da área de estudo, evidenciando a ocorrência de caatinga com porte arbustivo a arbustivo-arbóreo ou raramente arbóreo, composta por plantas suculentas como Cactaceae, Bromeliaceae, Leguminosae, Euphorbiaceae, Anacardiaceae, Fabaceae, Caesalpinaceae, Mimosaceae, entre outras famílias adaptadas à semiaridez (Figura 36).

Figura 36: Aspectos da vegetação de caatinga arbustiva densa, com presença de cactáceas, bromeliáceas e plantas lenhosas, na localidade de Fazenda Nova em Brejo da Madre de Deus.



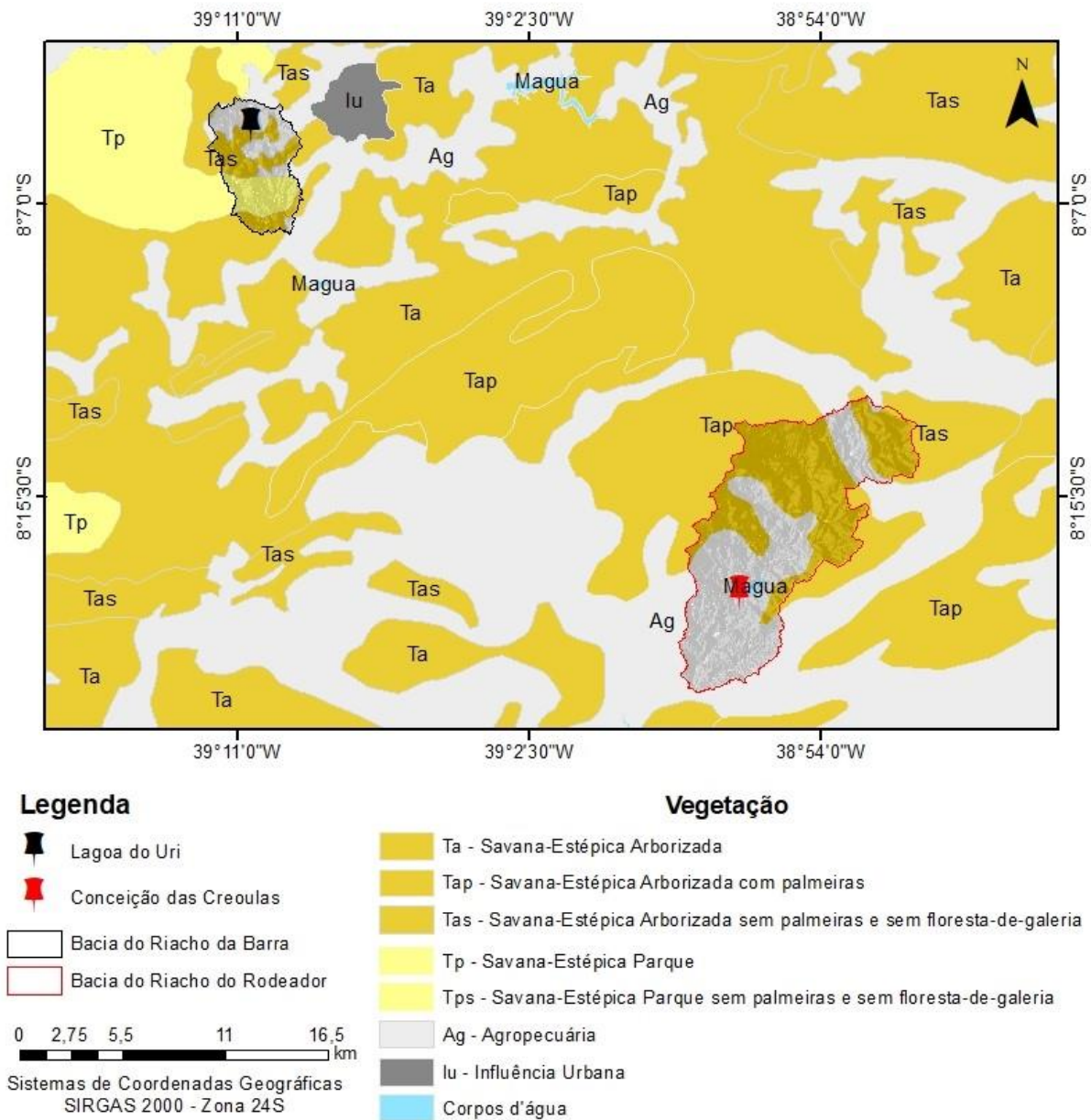
Fonte: Acervo pessoal do autor, 2019.

4.5.6.2 Vegetação de Conceição das Crioulas e Lagoa Uri de Cima, Salgueiro - PE

O município de Salgueiro, devido à sua localização em pleno Sertão Pernambucano, apresenta uma paisagem na qual a vegetação de caatinga hiper-xerófita é predominante. Neste sentido, Oliveira (2008) afirma que o contexto fitogeográfico do município é marcado pela caatinga adaptada a períodos secos mais extremos, com porte rasteiro e arbustivo que reveste extensas áreas de pediplanação. Neste ambiente há uma predominância de espécies como o mandacaru, facheiro, faveleira, aveloz e xique-xique. É possível encontrar ainda espécies de maior porte, tais como catingueira, braúna, jurema e angico, além de plantas não nativas como a algaroba.

Outro aspecto importante a ser mencionado sobre o tema é que no contexto das unidades de relevo locais, alternado depressões e maciços residuais, a cobertura vegetal sofre a interferência da altitude, o que pode ser verificado na borda oeste do Serrote da Mutuca e Serra da Onça, onde a vegetação é mais densa, com presença de plantas lenhosas como a imburana de cheiro, pereiro, pau-ferro e o bom-nome (Figura 37).

Figura 37: Vegetação no contexto das bacias do Riacho da Barra e Riacho do Rodeador, Salgueiro – PE.



Fonte: O autor, 2019.

Em se tratando da fisionomia vegetal do Distrito de Conceição das Crioulas, pode-se afirmar que suas características estão de acordo com o exposto acima, onde a vegetação de caatinga esparsa, herbácea e arbustiva, com grande presença de cactos e bromélias, pode ser observada (Figura 38).

Figura 38: Vegetação de caatinga arbustivas e herbácea, com presença marcante de bromeliáceas e cactáceas, sobre afloramento de granito porfirítico em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.

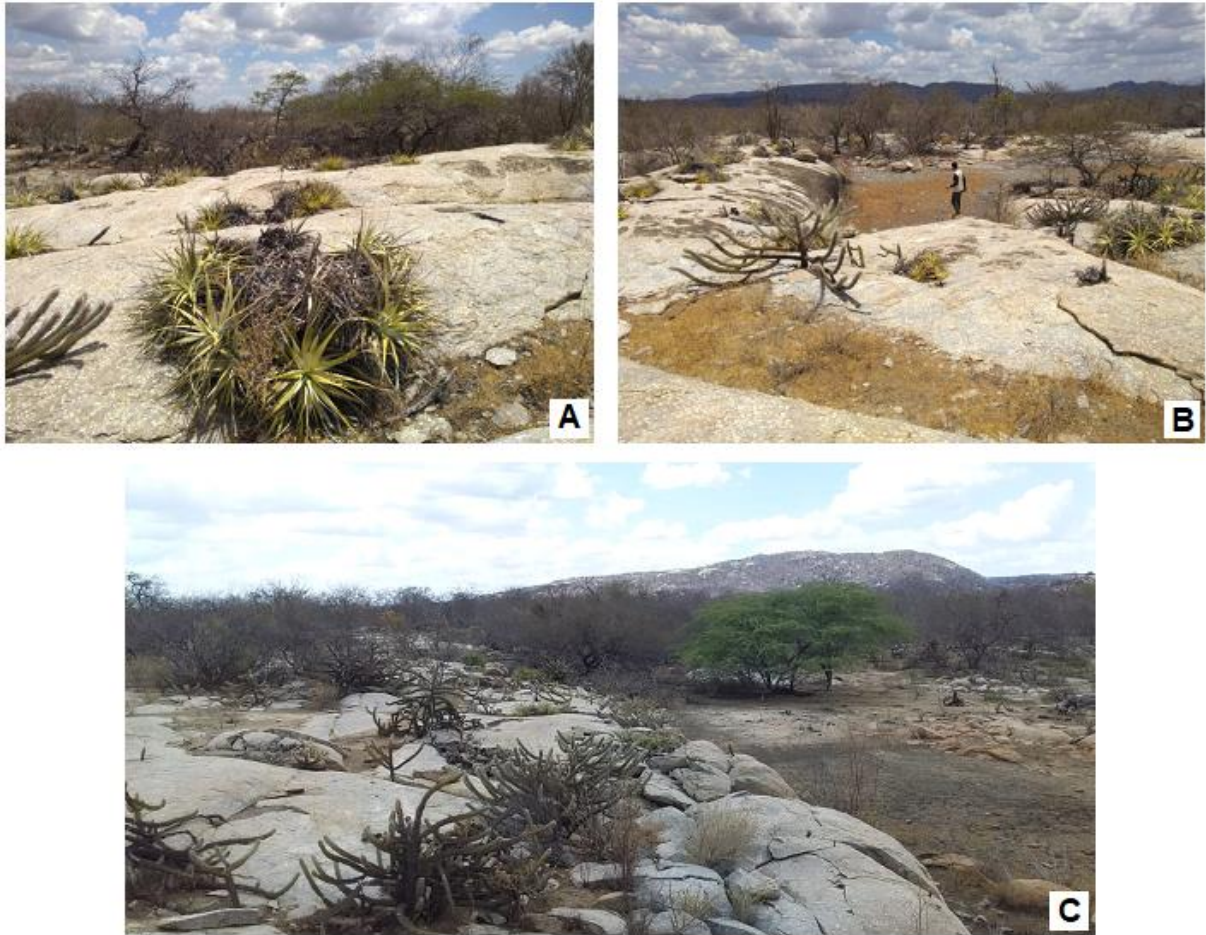


Figura 38: Vegetação de caatinga em afloramentos em Conceição das Crioulas (A, B e C). Fonte: Acervo do autor, 2019.

Na Lagoa Uri de Cima, por sua vez, é possível notar a presença de um conjunto bastante heterogêneo de espécies nativas de caatinga (Figura 39), com predominância de algumas espécies, como pontua Macedo (2016). Entre as espécies identificadas pelo autor destacam-se: a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), o capim (*Melinis* sp.), o cipó de caatinga (*Mikania* sp.), o fedegoso (*Senna* sp.), o juazeiro (*Ziziphus* sp.), a jurema branca (*Mimosa* sp.), o marmeleiro (*Cydonia oblonga*), o pinhão (*Jatropha* sp.), a seriguela (*Spondias purpurea*) e o umbuzeiro (*Spondias* sp.). Esta variedade da caatinga já havia sido descrita por Prado (1991) a partir de uma lista compreendendo 45 famílias, 199 gêneros e 437 espécies. Esta lista foi atualizada por Drumond et al. (2000), por meio de estudos com base em critérios qualitativos e quantitativos sobre a flora e vegetação da caatinga. Neste sentido o autor registrou cerca de 600 espécies arbóreas e arbustivas, sendo 180 endêmicas.

Figura 39: Aspectos da vegetação de caatinga hiper-xerófitas na Lagoa Uri de Cima.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

4.5.7 Aspectos hidrográficos e os padrões de drenagem local

O estado de Pernambuco apresenta uma rede hidrográfica caracterizada por canais fluviais com extensão e volume de água relativamente pequenos. A exceção a esta regra seria o rio São Francisco, que é o limite natural entre os estados de Pernambuco e Bahia, no domínio do sertão (CONDEPE/FIDEM, 2005). Todavia, pode-se afirmar que o estado conta uma densa rede hidrográfica, sobretudo, em sua porção oriental, onde vários canais drenam o território, grosso modo, no sentido leste/oeste, com nascentes situadas em contextos topográficos mais elevados, a exemplo do Planalto da Borborema, com padrão de escoamento para leste, desaguando no Oceano Atlântico.

No que diz respeito às características do padrão de drenagem, temos em Pernambuco rios que podem ser de três tipos elementares: penérses, intermitentes e efêmeros. Esta classificação se baseia no regime fluvial, que leva em consideração a interceptação do leito fluvial em relação à superfície freática, como preconiza Villela e Mattos (1975), ao tratarem

da relação entre os rios e o sistema de drenagem para distinguir os diferentes tipos de comportamentos dos cursos de água e lençóis freáticos ao longo do tempo.

Os rios perenes são comuns na região fisiográfica do litoral-mata, onde as condições climáticas com elevada umidade determinam o regime pluvial dos mesmos, sendo abastecidos por torrentes que se fazem presente na maior parte do ano, embora se intensifiquem no outono-inverno, período chuvoso marcado pela inferência de sistemas atmosféricos oriundos do Atlântico Sul, a exemplo dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL's) que atuam mais intensamente no inverno do hemisfério austral.

Já os rios intermitentes e efêmeros do estado, comuns às regiões fisiográficas do Agreste e Sertão, são fortemente influenciados pelo contexto climático semiárido, marcado pela escassez de chuvas, podendo apresentar um regime pluvial com até 8 meses de seca, como é o caso da área onde está situada as marmitas de dissolução, no município de Salgueiro – PE. Neste sentido, os rios com tais características estão sob a influência de um regime pluviométrico irregular e chuvas torrenciais, onde as máximas pluviais ocorrem durante o verão e verão-outono do hemisfério Sul, em decorrência da ação da ZCIT, como já discutido.

Ainda sobre os aspectos gerais da hidrografia do espaço territorial pernambucano, Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas do estado ressalta que este é dividido fisicamente, no sentido norte-sul, pelo Planalto da Borborema. Assim, os rios da parte oriental têm seu escoamento realizado no sentido oeste-leste, desaguando diretamente no Oceano Atlântico; são os denominados “rios litorâneos”. Na parte ocidental da Borborema, localizam-se os rios que apresentam as maiores áreas de drenagem e têm escoamento no sentido norte-sul, desaguando no São Francisco; são os denominados “rios interiores” (CONDEPE/FIDEM, 2005).

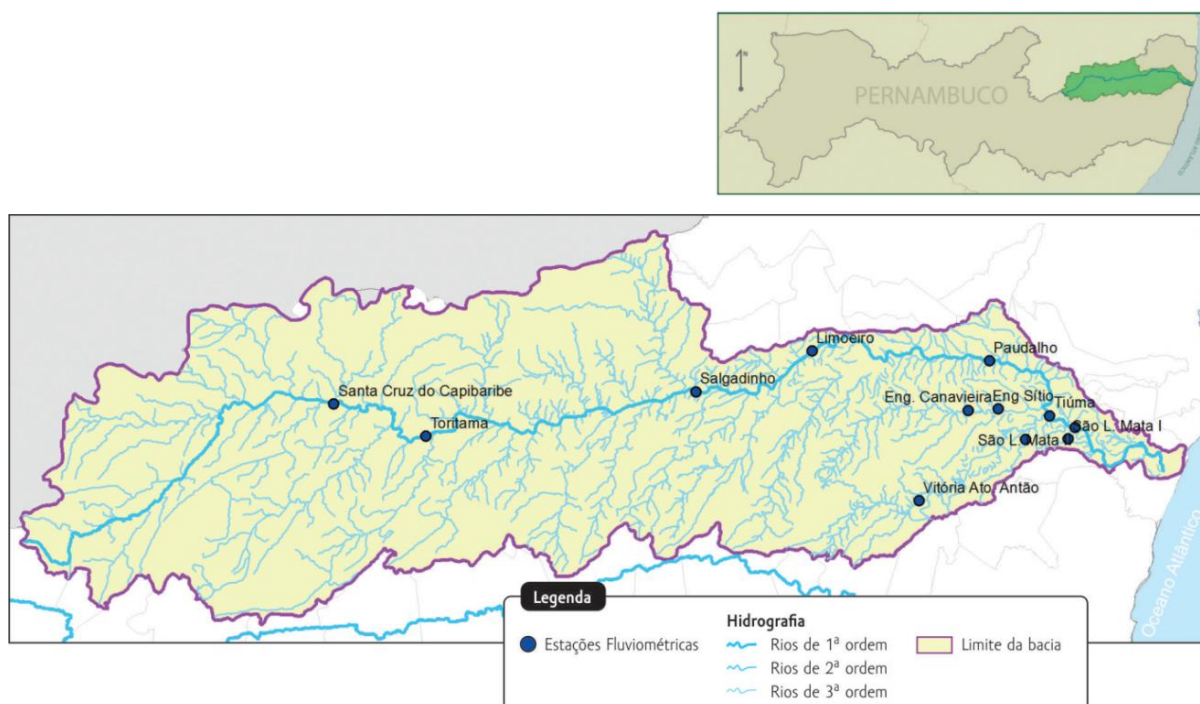
A partir desta classificação, serão destacados aspectos relevantes acerca de duas macro-bacias do estado de Pernambuco (bacias do Capibaribe e Terra Nova), visto que as áreas de amostragens da pesquisa estar inseridas dentro dos seus limites. A primeira drena a área do município de Brejo da Madre de Deus e segunda percorre a área do município de Salgueiro.

4.5.7.1 Contexto hidrográfico de Fazenda Nova

Como já foi mencionado anteriormente, o município de Brejo da Madre de Deus está inserido na área drenada pelos rios da bacia do Capibaribe (Figura 40), em seu alto curso, na região hidrográfica Nordeste Médio-Oriental. Esta bacia tem uma área de 7.454,88 km², o que

representa 7,5% da área total do estado de Pernambuco, percorrendo uma extensão total de cerca de 280 km até sua foz, na cidade do Recife. É uma bacia inteiramente pernambucana, tendo como nascente a divisa dos municípios de Jataúba e Poção, de onde segue no sentido sudeste/nordeste até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe, quando sua direção passa a ser no sentido leste/oeste (APAC, acesso em 2020).

Figura 40: Bacia hidrográfica do rio Capibaribe.



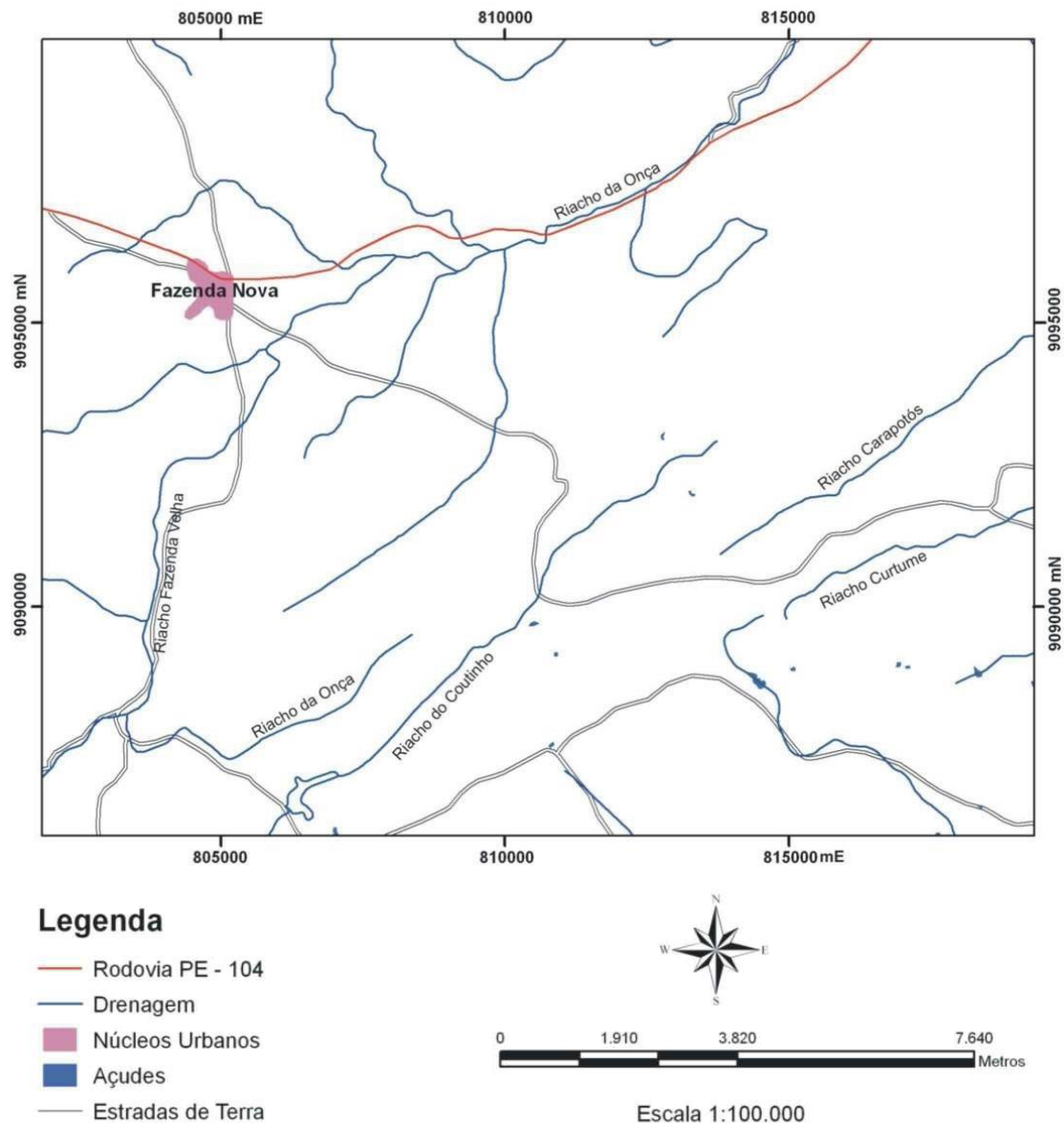
Fonte: Elaborado pelo Laboratório de Geoprocessamento do IFPE- Campus Recife, dados do SNIRH, 2015.

Ainda sobre os principais aspectos desta bacia, vale mencionar que ela tem suas nascentes na serra dos Campos, onde seus afluentes e subafluentes são intermitentes e/ou efêmeros, com calhas controladas por falhas, muitas vezes encaixadas sobre estruturas que refletem a ação geotectônica associada ao Lineamento Pernambuco, o que determina em partes do seu curso o caráter retangular de sua drenagem (RADAMBRASIL, 1983). Este mesmo contexto tectônico influencia diretamente na gênese das marmitas de dissolução, como já citado em tópicos anteriores.

Os rios que formam esta bacia banham 42 municípios pernambucanos, dos quais Brejo da Madre de Deus é um deles, estando seu território, totalmente inserido nos limites da bacia (CPRM / CONIAPE, 2016). Dentro dos limites da Bacia hidrográfica do Capibaribe, está inserida a área investigada no Distrito de Fazenda Nova, dentro dos limites da bacia

denominada Riacho Fazenda Nova. É neste contexto em que estão distribuídas as marmitas de dissolução da área (Figura 41).

Figura 41: Esboço da hidrografia da área de Fazenda Nova evidenciando as inflexões em ângulo reto ou drenagem retangular.

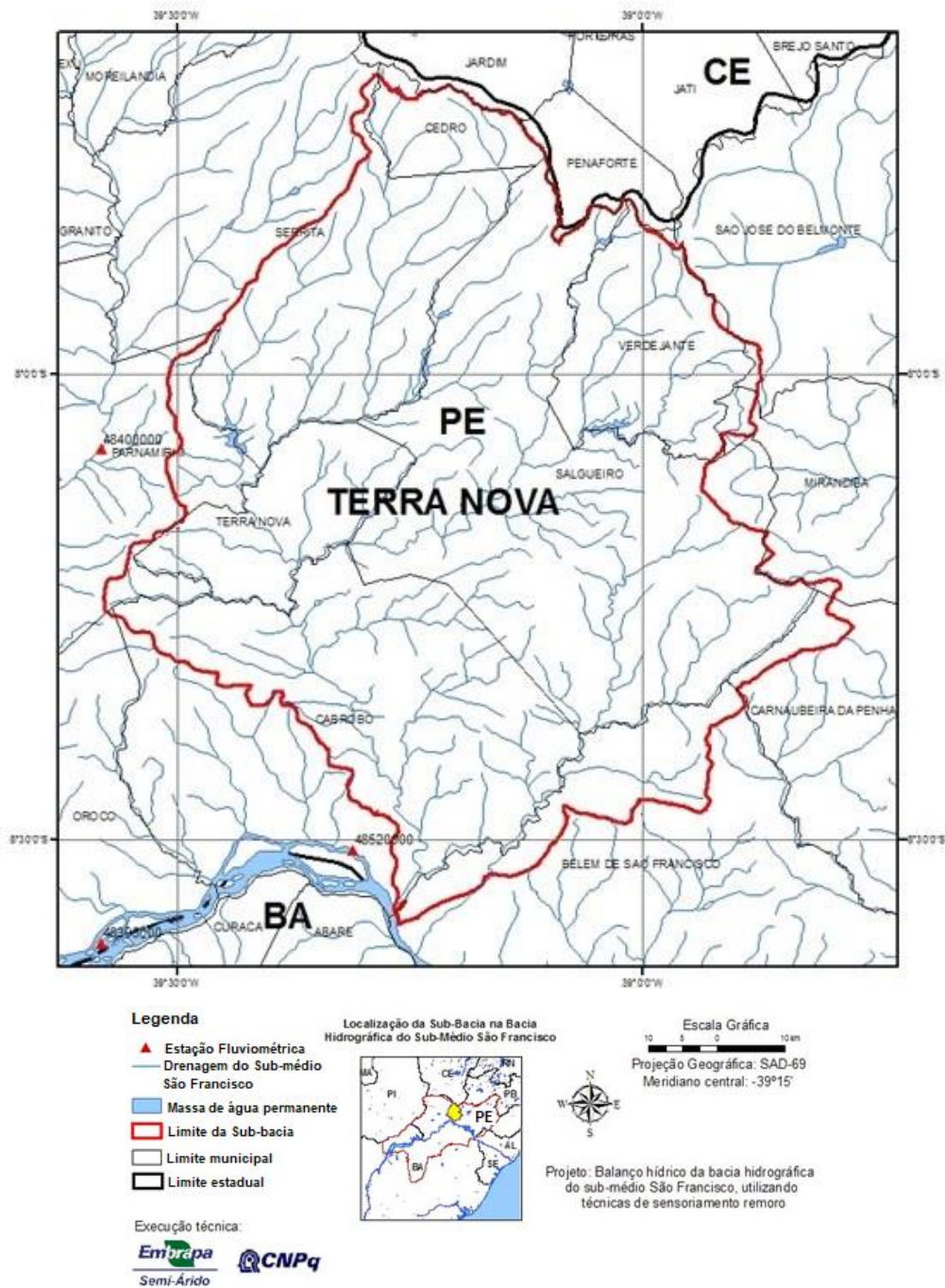


Fonte: Folha Belo Jardim da SUDENE, em escala 1:100.000.

4.5.7.2 Padrões hidrográficos no contexto da Lagoa Uri de Cima e Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.

No que diz respeito ao contexto hidrográfico, o município de Salgueiro encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Terra Nova (Figura 42), sendo todos os seus afluentes de caráter intermitente e efêmeros.

Figura 42: Localização da Bacia Hidrográfica Terra Nova – PE.



Fonte: Embrapa

O rio Terra Nova, principal da bacia em questão, apresenta uma extensão de 40 km, com suas nascentes situadas no limite do Estado do Ceará. No seu curso inicial, o rio apresenta direção norte-sul e, a partir da cidade de Terra Nova, segue o sentido noroeste-

sudeste até desaguar no rio São Francisco. Seu regime fluvial é intermitente ao longo de todo seu curso (APAC, 2019).

Por estar inserido no contexto do semiárido pernambucano, o domínio hidrográfico da bacia encontra-se seco a maior parte do ano, uma vez que a localidade costuma passar meses sem chuvas. O exutório aqui em questão é afluente da margem esquerda do rio São Francisco e drena o território dos seguintes municípios pernambucanos: Belém de São Francisco, Cabrobó, Cedro, Mirandiba, Orocó, Parnamirim, Salgueiro, São José do Belmonte, Serrita, Terra Nova e Verdejante, no estado de Pernambuco (PFALTZGRAFF et al., 2002).

Os principais afluentes do rio Terra Nova são, pela margem direita, os riachos do Amador, Jibóia, do Tigre, do Mororó e Cupiará. Pela margem esquerda, destacam-se os riachos Acauã, Salgueiro, Jatobá, da Cachoeirinha e Ouricuri. O seu maior afluente é o rio Salgueiro que, com uma extensão de aproximadamente 53 km, drena as cidades de Verdejante e Salgueiro (APAC, 2019).

A marmita da Lagoa Uri de Cima, situa-se na bacia do Riacho da Barra, o principal tributário do Terra Nova. A Lagoa Uri apresenta-se parcialmente conectada à rede de drenagem, onde as áreas mais baixas do terreno são drenadas por canais temporários, mas com expressiva energia durante o período chuvoso no verão (MUTZEMBERG et al, 2013). Já o distrito de Conceição das Crioulas está inserido na bacia do Riacho do Rodeador, sendo este também um tributário da bacia Terra Nova. O Riacho consiste em um afluente de caráter intermitente, com o canal principal desenvolvido sobre um leito rochoso, confinado sobre estruturas de fraturas e falhas.

Segundo Corrêa e Silva (2005) a malha hídrica no contexto desta microbacia é de morfologia essencialmente dentrítica a irregular, e o comportamento no âmbito da topografia configura um escoamento das águas pluviais em caráter insequente, às vezes dando lugar à drenagem arreica, com canais notadamente intermitentes e efêmeros entremeados de corpos de água que se assemelham a lagoas, definidas pelos autores como depressões sazonalmente alagadas.

4.5.8 Marmitas de dissolução: conceito, gênese e classificação

As marmitas de dissolução são microformas de relevo que se originam em superfícies horizontais ou semi-horizontais de litologias cristalinas que afloram a superfície. Estas formas que podem medir alguns centímetros ou dezenas de metros, sendo reconhecidas na literatura por diversos nomes em âmbito internacional e nacional: weathering pits, weatheringpans, rock

basing, rock holes, granite pits, gnammas, tanques, vasquesrocheuses, pías, pilas, pilacones, caldeirões, poços, marmitas e oriçangas (TWIDALE, 1982; VIDAL ROMANÍ & TWIDALE, 1998, BIGARELLA, 1994).

Apesar das marmitas terem uma grande recorrência nas regiões áridas e semiáridas (CAMPBELL, 1997; GUTIÉRREZ, 2005; VIDAL ROMANÍ & RODRIGUES, 2007; NETOFF & CHAN, 2009), já foram identificadas em outros contextos climáticos, tais como regiões glaciares, temperadas e úmidas, embora seja consenso que feições como marmitas e *tafonis* são mais aparentes em ambientes secos (HUGGETT, 2007; SILVA et al., 2017). Tal fato pode ser observado na região semiárida do Nordeste brasileiro, onde as formas são abundantes, funcionando como marcadores de fenômenos crustais variados, além de servir como fontes de dados para a reconstrução geomórfica da paisagem, a partir do reconhecimento de eventos climáticos quaternários, encontrados nos registros sedimentares e fossilíferos que preenchem as marmitas.

Com base na hipótese levantada na pesquisa, a partir das análises dos vários fatores relacionadas à temática das marmitas, segundo a caracterização das amostras do embasamento, foi possível identificar que a geração das microformas têm associações com litologias cristalinas (ígneas e metamórficas), com a dinâmica de instabilidade das zonas de cisalhamentos, com direções preferencias E-W e NE-SW, além dos trends de falhamentos, com direções preferenciais que seguem o padrão determinado pelas zonas cisalhadas, e processos intempéricos, que em via de regra seguem uma sequência que tem como ponto de partida a intemperismo físico, mediante os esforços tectônicos por meio de fraturas e falhamentos, e bioquímico, por meio da água atmosférica, enriquecida com outros compostos a exemplo do CO₂, ou desencadeada por meio da ação de líquens que se estabelecem nas rochas que afloram em superfícies em vários pontos, mas preferencialmente sobre estruturas litológicas cristalinas.

4.5.8.1 Condicionantes físicos para a gênese das marmitas de dissolução

Com base nos dados coletados em gabinete e análise *in situ* das marmitas no semiárido pernambucano, pode-se concluir que a formação das marmitas ocorre a partir da ação de diferentes fatores: tipo de litologia; interceptação da superfície rochosa por estruturas tectônicas (fraturas e falhas); ação intemperica sobre superfícies aflorantes de rochas ígneas e metamórficas; e ação bioquímica, que inclui a participação de líquens (TWIDALE, 1995, CAMPBELL, 1997; GOUDIE, 2006).

Sobre isso, Smith (1941) destacou a participação da água neste processo, sendo a solução, a hidratação e a hidrólise os principais processos em ação, e responsáveis pelo intemperismo diferencial na frente de intemperismo, e pelo crescimento das bacias após a exposição em superfície. Twidale (1995) também cita a água como fator decisivo nesta dinâmica formativa, pois segundo o autor a água acumulada altera a rocha e, assim, aumenta a cavidade original.

4.5.8.2 Influência da litologia

As características das litologias no tocante às propriedades físicas e químicas são decisivas para o ataque dos agentes intempéricos, responsáveis pela ampliação das dimensões de uma marmita, já que a composição mineral, textura, tipo de deformações, contatos entre minerais etc., são elementos que podem influenciar fortemente sobre o tipo e o grau de intensidade com que uma rocha pode ser meteorizada e decomposta. Neste sentido, vale apontar que estas feições podem vir a se formar em superfície plana ou suavemente inclinada sobre rochas calcárias, granitos, basalto, gnaisses, entre outros (HUGGETT, 2007).

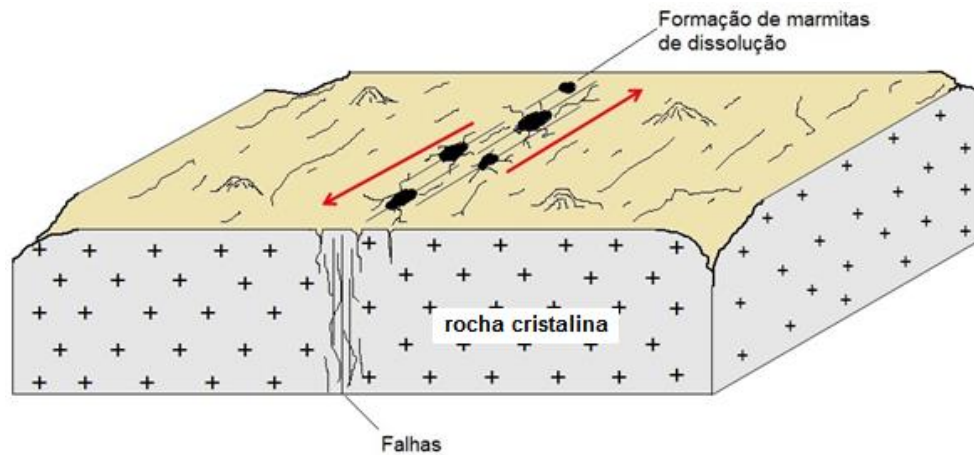
As rochas do embasamento dos municípios de ocorrência das marmitas são basicamente dos seguintes tipos: granitos, dioritos, sienitos, granodiorito (ígneas) e gnaisses e micaxistos (metamórficas). Estes tipos de litologia favorecem, em condições normais, a formação de feições de diferentes tipos, sobretudo aquelas associadas à meteorização como os tafonis, caneluras e marmitas de dissolução (MAIA & NASCIMENTO, 2018).

4.5.8.3 Fatores tectônicos e estruturais

Outro importante fator que vai determinar a geração de marmitas são os de caráter tectônico, visto que as estruturas das rochas, seus minerais e sua composição química sofrem influência da dinâmica interna da Terra. Nas áreas investigadas destaca-se o forte controle estrutural, decorrente da dinâmica crustal da Zona Transversal (ALMEIDA et al., 1967, 1977, 2000; BRITO NEVES et al., 1997, 2000), onde processos cinemáticos de regimes compreensivos e transcorrentes, fenômenos orogenéticos e o contexto tectônico de natureza dúctil e rúptil foram essenciais para criar ambientes dominados por intrusões ígneas, que desencadearam processos metamórficos de vários graus, onde as estruturas litológicas encontram-se condicionadas por fraturas e falhas. Essa trama reológica permite a percolação

da água atmosférica, que, em comunhão com os demais fatores abordados, geram as marmitas de dissolução (Figura 43).

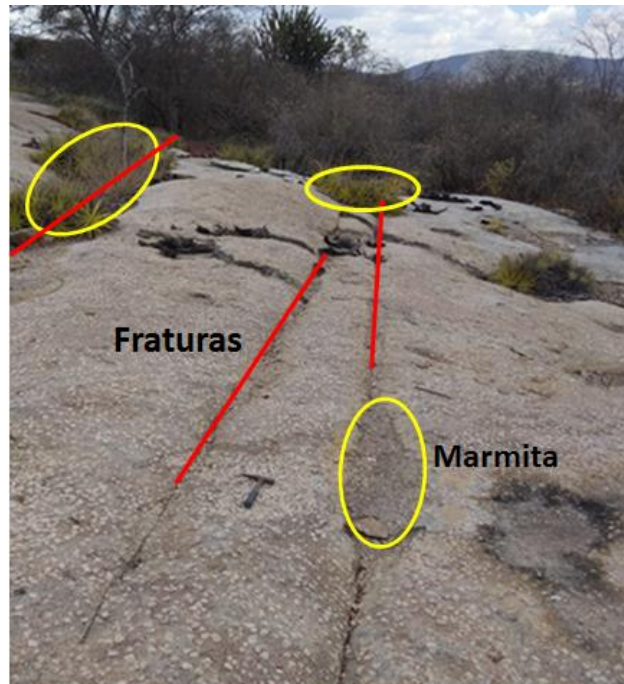
Figura 43: Esquema mostrando a relação entre o contexto das falhas e a geração de marmitas em rochas que afloram à superfície.



Fonte: O autor, 2019.

A relação entre os fenômenos tectônicos e a geração de marmitas pôde ser observada nas localidades investigadas, sobretudo em função do padrão de distribuição das micro-formas e macro-formas tais como escarpas e espelhos de falhas, relevos em crista, maciços estruturais, onde o padrão encaixado de drenagens são indicativos do forte controle tectônico-estrutural, o que interfere sobre o padrão de distribuição das marmitas (Figura 44).

Figura 44: Marmitas incipientes associadas ao faturamento das rochas, em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.



Fonte: O autor, 2019.

4.5.8.4 A ação do intemperismo

O intemperismo (*weathering*, termo em inglês) consiste no processo de alteração das rochas para que estas formem sedimentos, por meio de um conjunto de processos que envolvem desde a expansão e contração do volume dos compostos minerais, reações químicas e ação mecânica de organismos. Suguio (1998) define como processo de transformação de rochas quando submetidas a condições superficiais, através da ação química das águas pluviais, das ações biológicas de plantas e bactérias e das ações mecânicas relacionadas à amplitude térmica acentuada ao longo do dia ou ano, nos diversos domínios morfoclimáticos da superfície terrestre. O termo intemperismo é aplicado de forma indistinta às alterações físicas e químicas (Figura 45) a que estão sujeitas as rochas expostas às condições da baixa atmosfera (OLLIER, 1975; BIGARELLA, 1995).

Figura 45: Diferentes tipos de intemperismo atuando sobre as rochas expostas à atmosfera.



Figura: Intemperismo químico em dioritos no entorno da Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE (A); Intemperismo físico, esferoidal ou em forma de cebola em afloramento granítico em Brejo da Madre de Deus – PE. Fonte, o autor, 2019.

Na natureza existe forte tendência ao estabelecimento de um equilíbrio físico-químico entre as substâncias. Num sistema natural, as fases (líquidas, gasosa e o arranjo cristalino do mineral) são estáveis sob determinadas condições de pressão e temperatura. Quando estas condições sofrem mudanças e a composição química é transformada pela presença de água e ar, certos minerais tornam-se instáveis (BIGARELLA, 1995). Em virtude das diversas naturezas do intemperismo, podem ser classificados em três tipos: físico ou mecânico, químico e biológico. Estes dois últimos estão estreitamente relacionados.

Os padrões de intemperismo são de fundamental importância no desenvolvimento de muitas formas graníticas, embora outros fatores também sejam importantes, como às forças tectônicas. Com se sabe, as rochas cristalinas têm uma maior resistência ao intemperismo. Todavia, estas apresentam propriedades (microfissuras, deformações minerais, alreações, clivagem e presença de máficos) que pode acelerar o processo. Os granitos, abundantes nas áreas investigadas, são conhecidas pela sua grande resistência à degradação. Contudo, podem ser altamente permeáveis quando da presença de uma trama conectada de fraturas (TWIDALE, 1995).

O granito é suscetível ao intemperismo por umidade, levando à formação de um regolito. O curso e a taxa de intemperismo são influenciados pela estrutura da rocha, incluindo fraturas; composição mineral; textura, especialmente o tamanho dos cristais; e a natureza física, química e biótica da água invasora (CAMPBELL, 1997). Granitos de grão mais fino tendem a ser mais suscetíveis a intempéries devido à maior superfície relação área/volume de cada cristal. No entanto, com cristais maiores, especialmente aqueles que estão sob tensão e, portanto, atravessados por uma série de microfissuras, pode ser mais fortemente intemperizado (Russell 1935; Pope 1995; Hill 1996).

Ainda sobre o intemperismo como agente formador das marmitas, Twidale (1995) destaca a importância dos líquens (Figura 46). Segundo o autor as hifas penetram na rocha e auxiliam na desintegração física. Eles também facilitam a entrada de água e, além disso, extraem minerais selecionados para seu próprio uso. No por outro lado, e sem negar que os líquens causam intemperismo, há evidências observacionais de que eles protegem as superfícies rochosas. Eles não apenas estabilizam a superfície em um sentido absoluto, mas a taxa de intemperismo é maior em superfícies adjacentes expostas ou não colonizadas.

Figura 46: Líquen em granitoides no Monte das Tabocas, Vitória de Santo Antão – PE.



Fonte: O autor, 2020.

Organismos, especialmente microrganismos como bactérias, algas e líquens, afetam significativamente a taxa de intemperismo do granito. Este aspecto apresentado pelos granitoides é fator determinante para que nos ambientes de afloramentos ocorra uma grande variedade de formas superficiais. Riqueza esta que só é comparável aos ambientes geomorfológicos dominados por calcários e alguns arenitos (TWIDALE, 1982, 1995; CAMPBELL, 1997; MIGÓN, 2006; MAIA e NASCIMENTO, 2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS MORFOESTRUTURAIS

O principal objetivo da pesquisa é identificar os elementos fisiográficos no contexto do semiárido, que controlem a distribuição e aspecto das micro-feições referidas como marmitas de dissolução. A partir da avaliação dos dados produzidos na pesquisa, foi possível responder a questões referentes às propriedades das rochas e minerais que condicionam a distribuição das marmitas, e assim estabelecer se essas microformas apresentam padrões de distribuição atrelados aos condicionantes litológicos. Estes padrões foram evidenciados em diversos contextos do Nordeste semiárido (MAIA & NASCIMENTO, 2018; CORRÊA & SILVA, 2005; SILVA, 2007; MAIA et al., 2015; MAIA & MIGÓN, 2020, WALDHERR et al., 2020).

Os resultados obtidos nessa etapa serão discutidos sob a luz da evolução tectônico-estrutural, da história dos eventos magmáticos, sobretudo de repercussão regional, e conhecimento sobre a evolução dos compartimentos de relevo (topo, encosta e canal) e sua relação com as formas de menor escala. A discussão propõe ainda uma relação entre a rede de falhas (principais e seus trends preferenciais) e a presença das marmitas. Outro aspecto investigado foi a relação entre a topografia e as marmitas, visto que alguns autores (BARRETO et al., 2004) afirmam que as microformas, sobretudo no estado de Pernambuco, ocupam os patamares mais elevados do relevo, que coincidem com cimeiras, que apresentam topos suavemente inclinados ou mesmo planos.

Por fim apresentam-se análises relacionadas ao contexto processo resposta entre topo-encosta-vale levando em consideração o conteúdo deposicional identificado em marmitas de dissolução retratadas na literatura, em várias localidades na área de estudo. Aqui foram discutidos, por meio do contexto sedimentológico (sequência deposicional, características

granulométricas, etc) e cronológico, aspectos de similaridade entre as marmitas que pudessem fornecer subsídios para a compreensão de eventos de oscilações climáticas que influenciaram na gênese dos preenchimentos sedimentares dessas micro-formas. A correlação entre os depósitos busca estabelecer correspondência entre a sedimentologia, processos superficiais e geocronologia.

5.1.1 Análise do contexto morfoestrutural e sua influência na gênese e distribuição das marmitas de dissolução

As questões referentes à influência que os fenômenos internos exercem sobre o relevo da área seguem os modelos trazidos por CORRÊA, 2001; CORRÊA et al., 2010; TAVARES, 2015; LIRA, 2014; MONTEIRO, 2015; MAIA e NASCIMENTO, 2018; MIGOÑ & MAIA, 2020; MONTEIRO e CORRÊA, 2020; que nas últimas décadas, a partir da análise de dados diversos e acréscimo de novas tecnologias de análises espaciais, propuseram por meio da definição de limiares tectônico-estruturais e morfológicos entender a evolução do relevo no contexto do subdomínio da Zona Transversal.

A análise dessas paisagens geomorfológicas leva em conta a visão teórica proposta por Hack (1975) segundo a qual, a paisagem geomorfológica consiste em um sistema aberto, com entradas altamente variáveis de energia e matéria. O modelo de equilíbrio dinâmico enfatiza a importância que as variáveis força, forma e processo passam a ter no estudo de uma paisagem. Nesta perspectiva de análise leva-se em consideração os inputs derivados da tectônica e a denudação do terreno pela erosão, previamente associada aos fenômenos de intemperismo. Corrêa et al. (2010) afirmam que de acordo com essa perspectiva teórica, os modelados seriam mantidos pelo balanço entre a retirada do material pela ação da erosão e a compensação deformacional da astenosfera. Assim o relevo seria gerado por meio de uma troca de energia e matéria dentro do sistema, cabendo aos pesquisadores a tarefa de procurar entender a relação entre os componentes que estruturam uma paisagem.

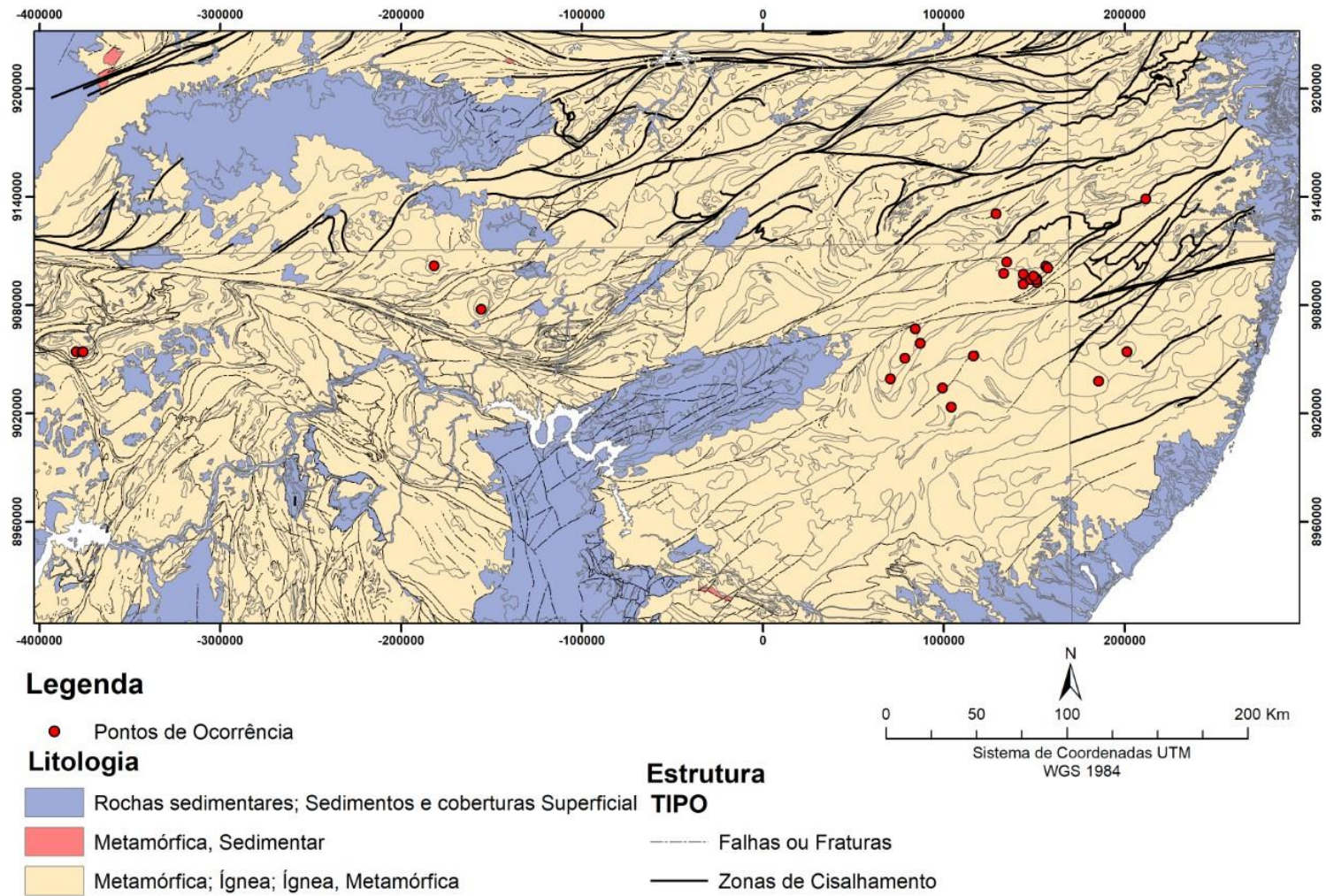
5.1.2 Análise das estruturas geológicas

Com base na análise dos contextos tectônico e estrutural, constatou-se que as marmitas se originam em regiões marcadas pela presença de fraturas e falhas (Figuras 47 e 48), fortemente influenciadas por zonas de cisalhamento, tais como o Lineamento Pernambuco e o Lineamento Patos, e a trama de falhas transversais entre estas duas estruturas, que seguem

direções preferenciais NE/SW (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2007; CORRÊA et al., 2010; MAIA e BEZERRA, 2012).

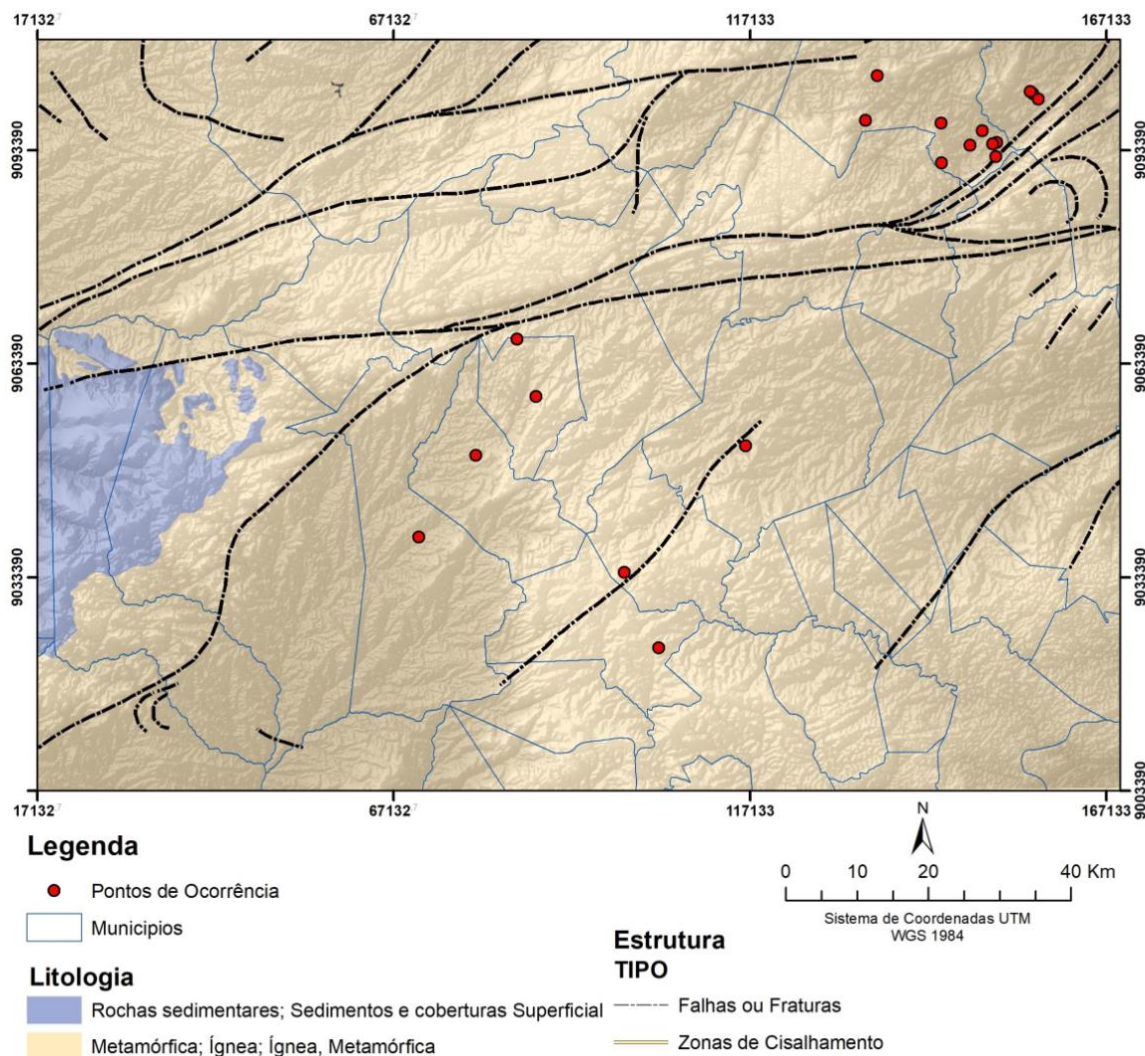
Sendo assim, zonas de cisalhamento como o Lineamento Pernambuco e o Lineamento Patos são elementos da paisagem de origem estrutural que favorecem a criação de espaços por onde a água tende a percolar e acelerar o desgaste das rochas por meio do intemperismo químico ou bioquímico, uma vez que água meteórica ao cair em superfície torna-se enriquecida de compostos ácidos. Ainda sobre este ponto, não podemos deixar de mencionar a ação dos organismos sobre o intemperismo. No tocante a este último aspecto, Hughes, 2012 realizou um estudo sobre a ação bacteriana como condicionante para a formação de marmitas de dissolução no Planalto Semiárido do Colorado, EUA. Neste contexto, a autora afirma que a presença de água com elevado pH acelera a decomposição das rochas em superfície, criando microambientes que favorecem o desenvolvimento de colônias de bactérias, que por sua vez funcionam como um catalizador para o intemperismo das rochas.

Figura 47: Geologia de um recorte da região nordeste, destacando a ocorrência de marmitas de dissolução no estado de Pernambuco.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 48: Distribuição das marmitas de dissolução ao longo de estruturas tectônicas (falhas e fraturas) em um recorte espacial do estado de Pernambuco, na região Agreste, onde Brejo da Madre de Deus está inserida.

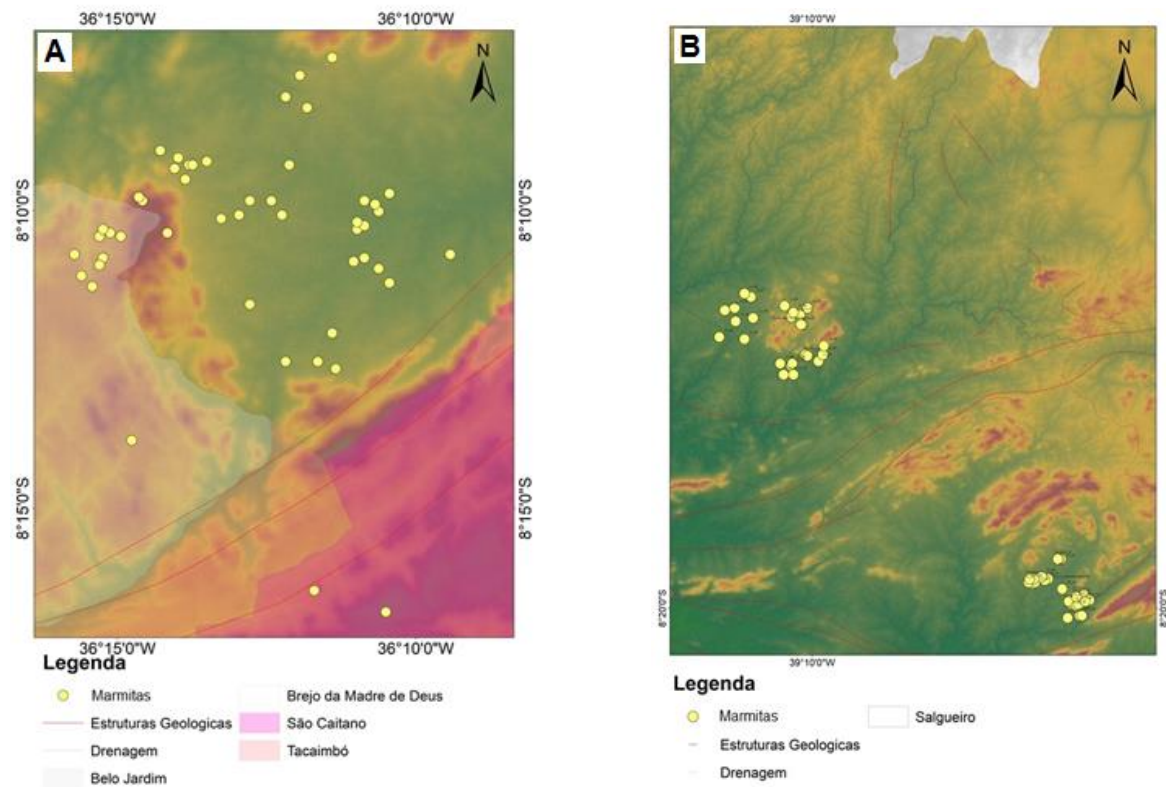


Fonte: Os autores, 2019.

As Figuras 47 e 48 retratam as áreas investigadas em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro, respectivamente, evidenciando a posição em que as marmitas estão distribuídas em relação à topografia. Observa-se a ocorrência de estruturas em falhas presentes em ambas às situações, com padrão de direção preferencial NE/SW, que também podem ser observadas se muitos detalhes (Figura 49) correlacionadas aos trends de falhas principais na Zona Transversal. Essas estruturas são elementos determinantes para a formação de grandes domínios morfoestruturais no Nordeste Brasileiro, onde ocorrem vales fluviais incisos e alinhamentos de cristas residuais em áreas de lineamentos estruturais (MAIA e BEZERRA,

2012). O relevo das áreas apresenta vertentes adaptadas a linhas de falhas que expõem a rocha sã e propiciam a gênese das marmitas (CORRÊA, 2010).

Figuras 49: Distribuição da rede de falhas principais e a distribuição dos pontos de marmitas em Brejo da Madre de Deus (A) e Salgueiro (B).

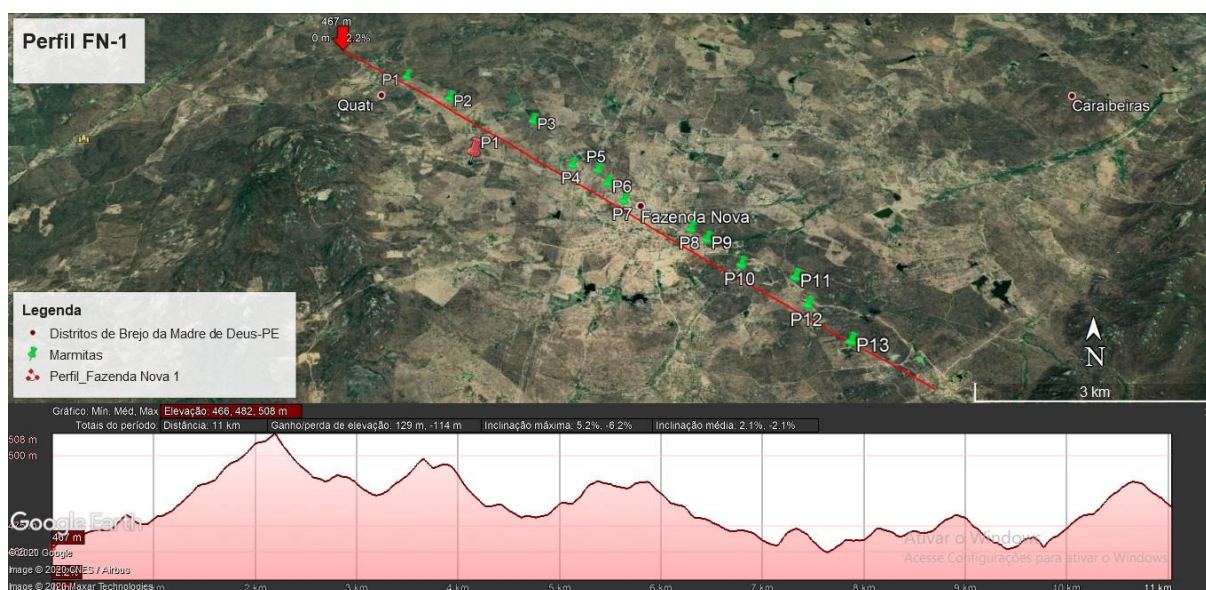


Fonte: O autor, 2021.

5.1.3 Análise morfoestrutural

Fazenda uso do Google Earth Pro, foram plotados os pontos identificados de marmitas do contexto do Distrito de Fazenda Nova, em Brejo da Madre de Deus. Foi também confeccionado um transecto perpendicular aos principais trends de falhas da área (Figura 50). Os marcadores em verde retratam 13 pontos de ocorrência de marmitas de dissolução localizadas nas proximidades do perfil. A partir deste, foi gerado o perfil de elevação, para evidenciar a posição na paisagem das microformas de dissolução. Neste sentido, considera-se a posição de alguns dos pontos plotados na imagem e a partir daí, propõe-se uma discussão de sua distribuição na paisagem geomorfológica.

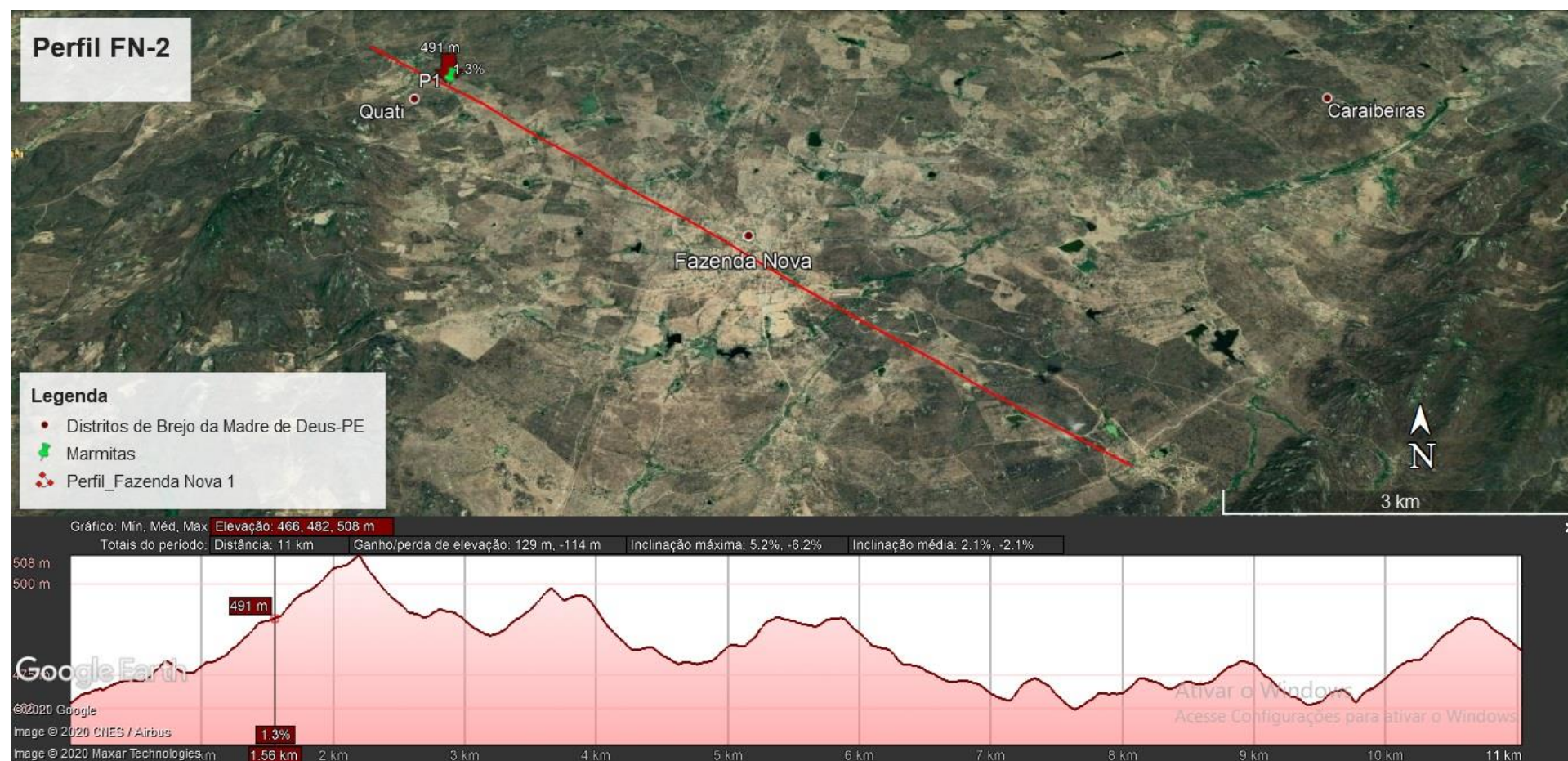
Figura 50: Perfil perpendicular aos principais trends de falha regionais e o perfil de elevação em com base na posição de marmitas em Fazenda Nova.



Fonte: O autor, 2021.

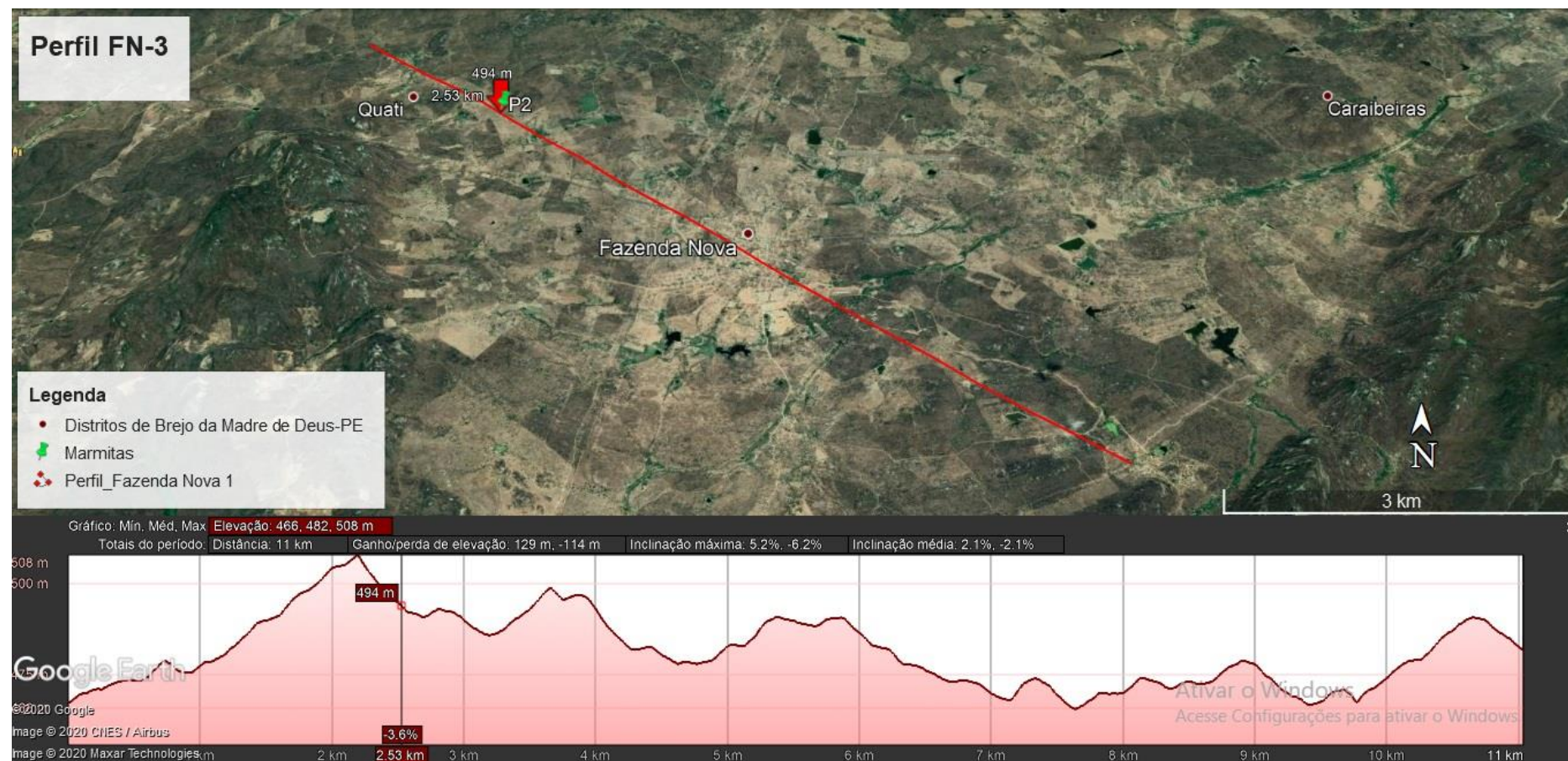
No Ponto 1, marcado sobre a imagem, foi possível perceber que a marmita identificada está situada em um patamar topográfico que remete a uma encosta com baixa inclinação (média de 2,1%), a uma elevação de 491 m. Há uma aproximação evidente entre o ponto e o knick da encosta, que reforça que a ocorrência das marmitas está atrelada a um contexto morfoestrutural marcado pela existência de uma rede de falhas imbrincadas, associadas aos limites de zonas de cisalhamentos da área. Tal situação é também observada nos outros pontos selecionados, como será demonstrado a seguir em cinco pontos, na localidade investigada (Figuras 51, 52, 53, 54 e 55).

Figura 51: Ponto 1 - Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.



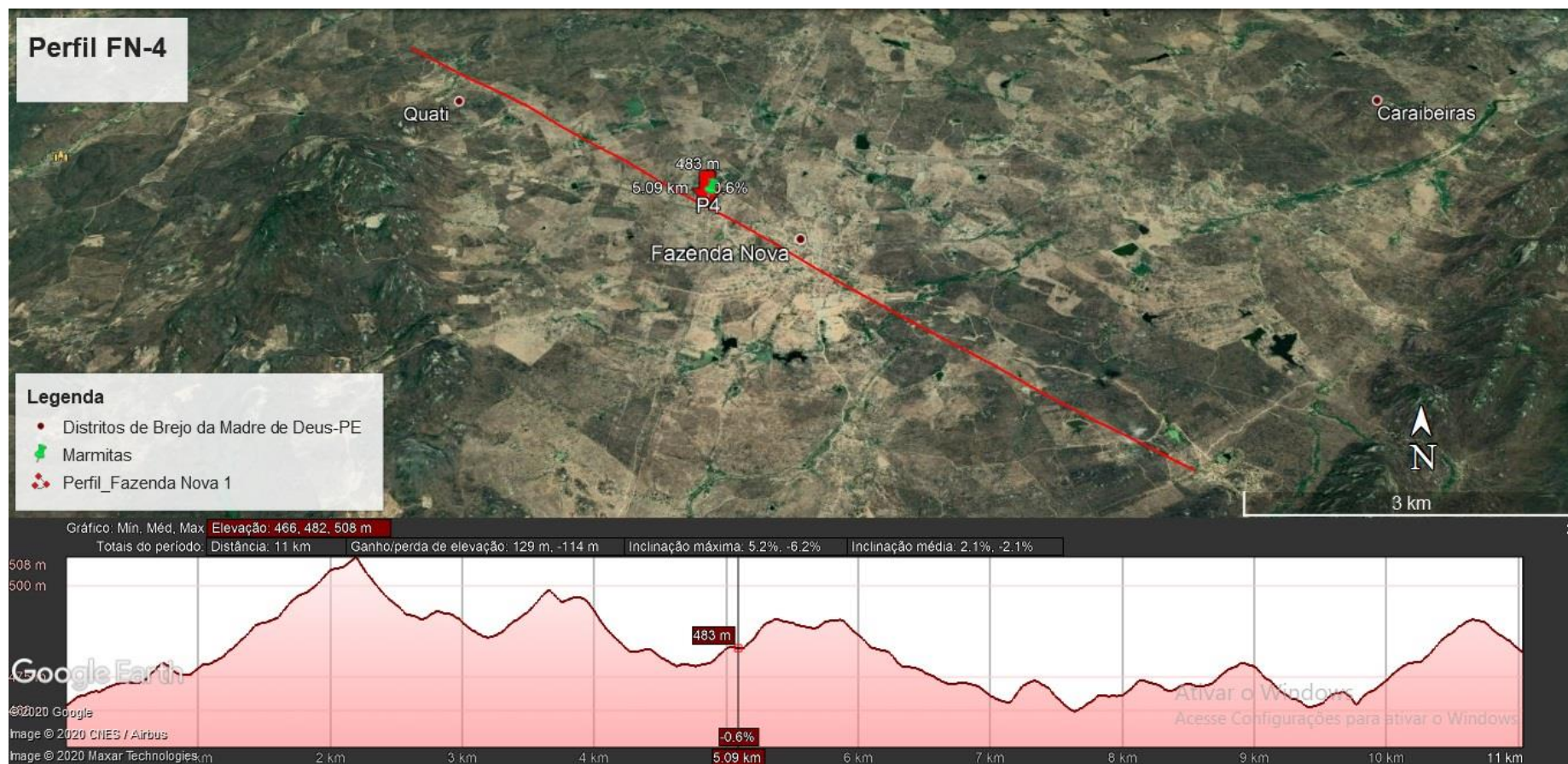
Fonte: O autor, 2020.

Figura 52: Ponto 2 - Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.



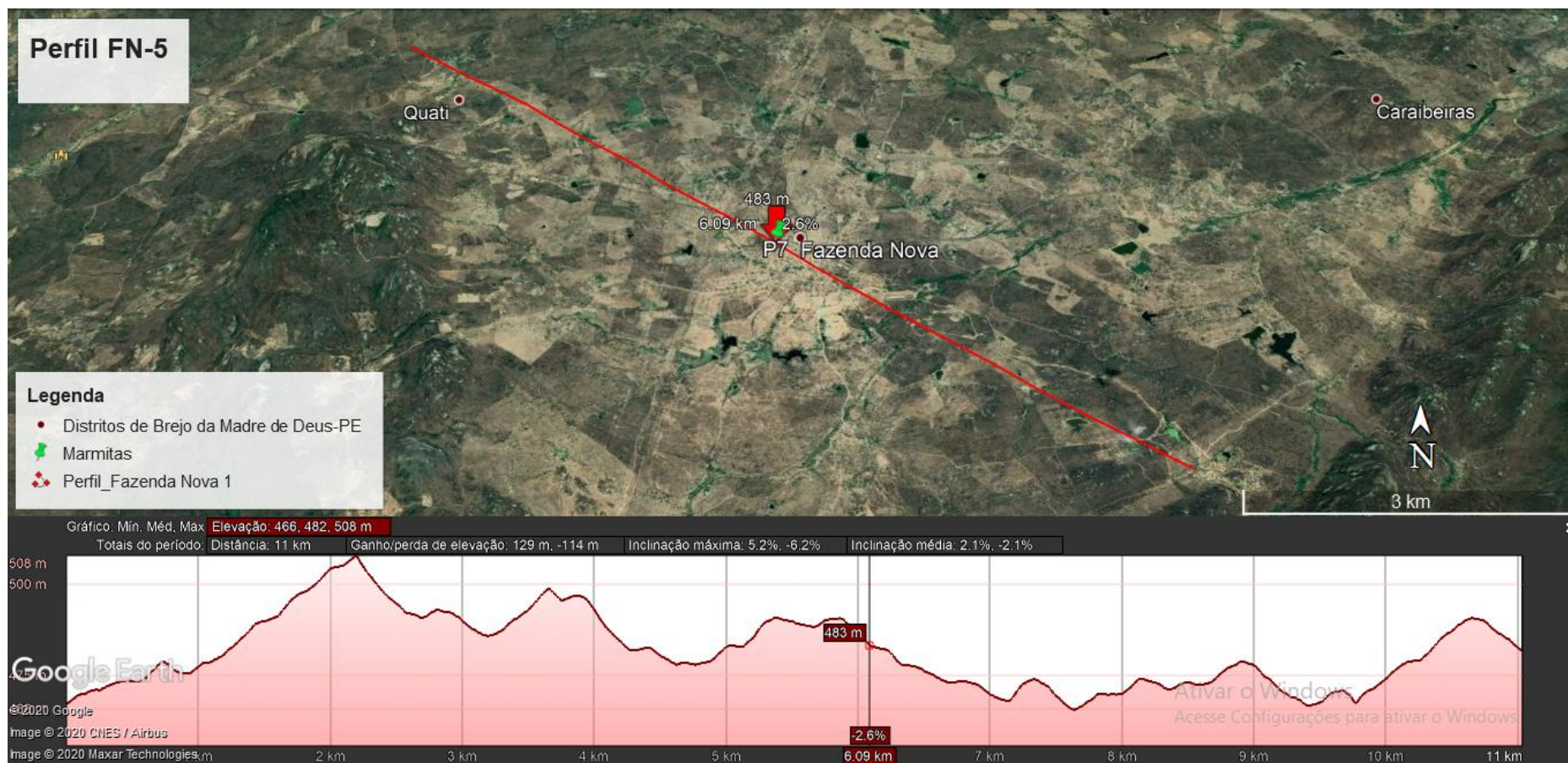
Fonte: O autor, 2020.

Figura 53: Ponto 4 – Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.



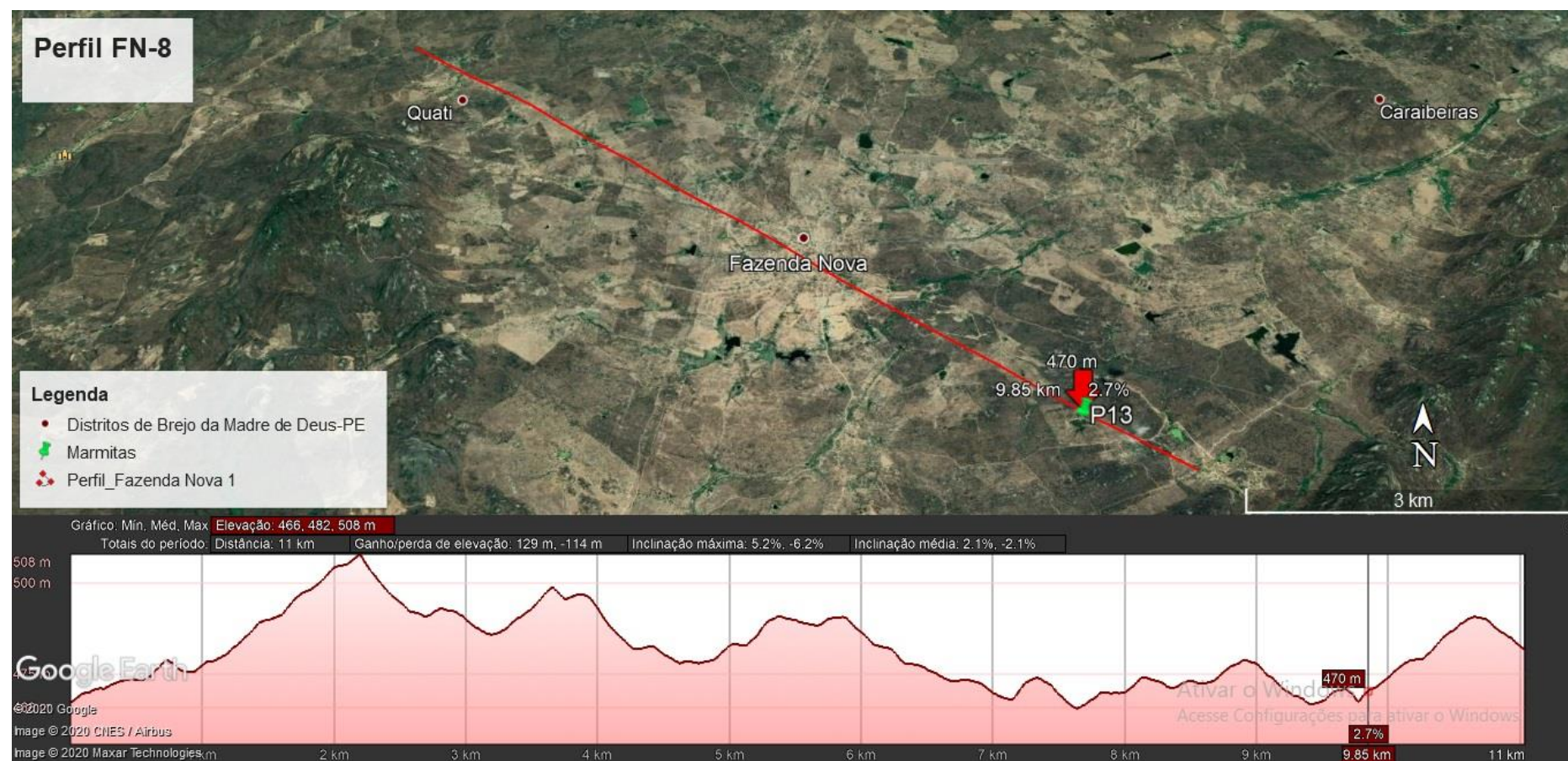
Fonte: O autor, 2020.

Figura 54: Ponto 7 – Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 55: Ponto 13 – Perfil de elevação, Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: O autor, 2020.

Nas situações evidenciadas ao longo do perfil de elevação, é possível perceber alguns aspetos que se repetem. No que diz respeito ao contexto da altitude, os pontos analisados estão localizados em valores que variam de 470 a 491 metros. Estas cotas encontram-se estruturadas sobre maciços cristalinos alinhados segundo diferentes zonas de cisalhamento e lineamentos estruturais que orientam a drenagem e a dissecação.

Outro aspecto importante a ser observado sobre a posição das marmitas e os perfis traçados é a inclinação do terreno. Os pontos em que as feições se encontram estão em contexto topográfico onde os desníveis do terreno não excedem 3%, em termos de inclinação média. Esta constatação é importante para fins de definição das marmitas, pois estas são consideradas típicas quando ocorrem em superfícies horizontais ou suavemente inclinadas (HUGGETT, 2007; MIGÓN, 2006a). Quando as marmitas se formam em superfície inclinada podem vir a perder um dos lados e adquirir forma de uma “poltrona com braços” que constitui uma forma intermediária entre as marmitas de dissolução (Figura 56), típico de superfície horizontal e o tafone, desenvolvidas em superfícies inclinadas ou verticais, (BIGARRELLA, 1995).

Figura 56: Marmita em formação na borda de uma superfície de afloramento em granito pórfiro em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.

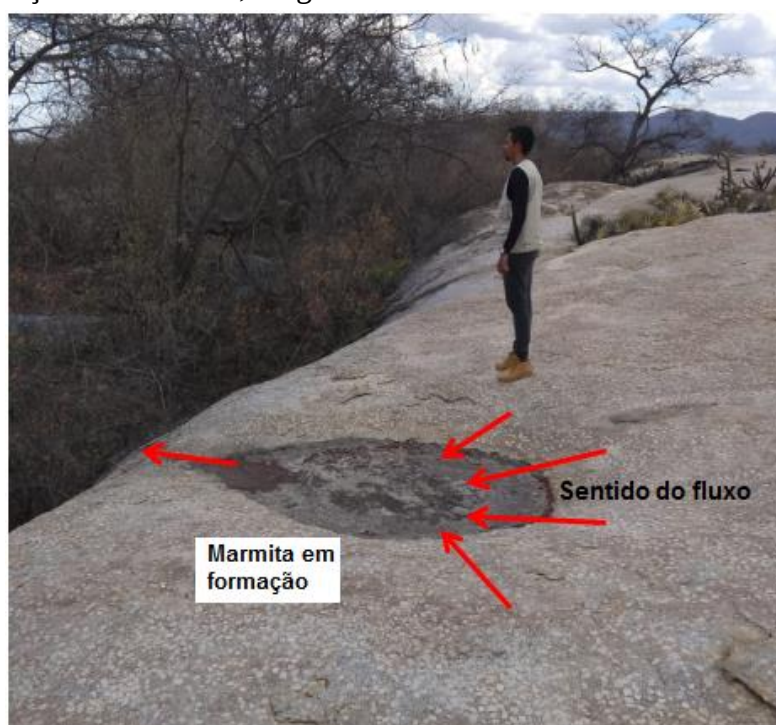


Figura: A direção do fluxo tende a provocar o rompimento da borda, o que pode gerar uma marmita em forma de poltrona. Fonte: O autor, 2019.

Com base nas informações apresentadas pode-se afirmar que todos os pontos selecionados ocorrem em cotas superiores a 400 m de altitude. Os compartimentos de relevo ao qual elas estão associadas são as encostas, cimeiras e pedimentos. Os compartimentos da paisagem com declividades mais acentuadas não permitem que a pouca água disponível no sistema percole as fraturas das rochas, uma vez que a água rapidamente se desloca pelas vertentes, o que impede a gênese de marmitas nestas situações. Assim, um dos fatores limitantes para a formação de marmitas estaria relacionado à declividade do terreno.

Ainda sobre a relação do contexto estrutural em falhas e a formação de relevos graníticos, como é o caso das marmitas, Lima & Bastos (2018) afirmam existir uma forte relação do relevo e sua estrutura no Maciço de Uruburetama, no estado do Ceará, onde foi verificado que o embasamento constituído por granitoides neoproterozoicos, associado à realidade tectônico-estrutural bastante dinâmica possibilitou a gênese de feições comuns a esse tipo de rocha, tais como feições residuais (bornhardts e inselbergs), feições saprolíticas (boulders, tors e castle koppies) e feições de dissolução (tafoni e alvéolos), também encontradas na área de estudo (Figura 57).

Figura 57: Relevos graníticos nas áreas de estudo no semiárido de Pernambuco.

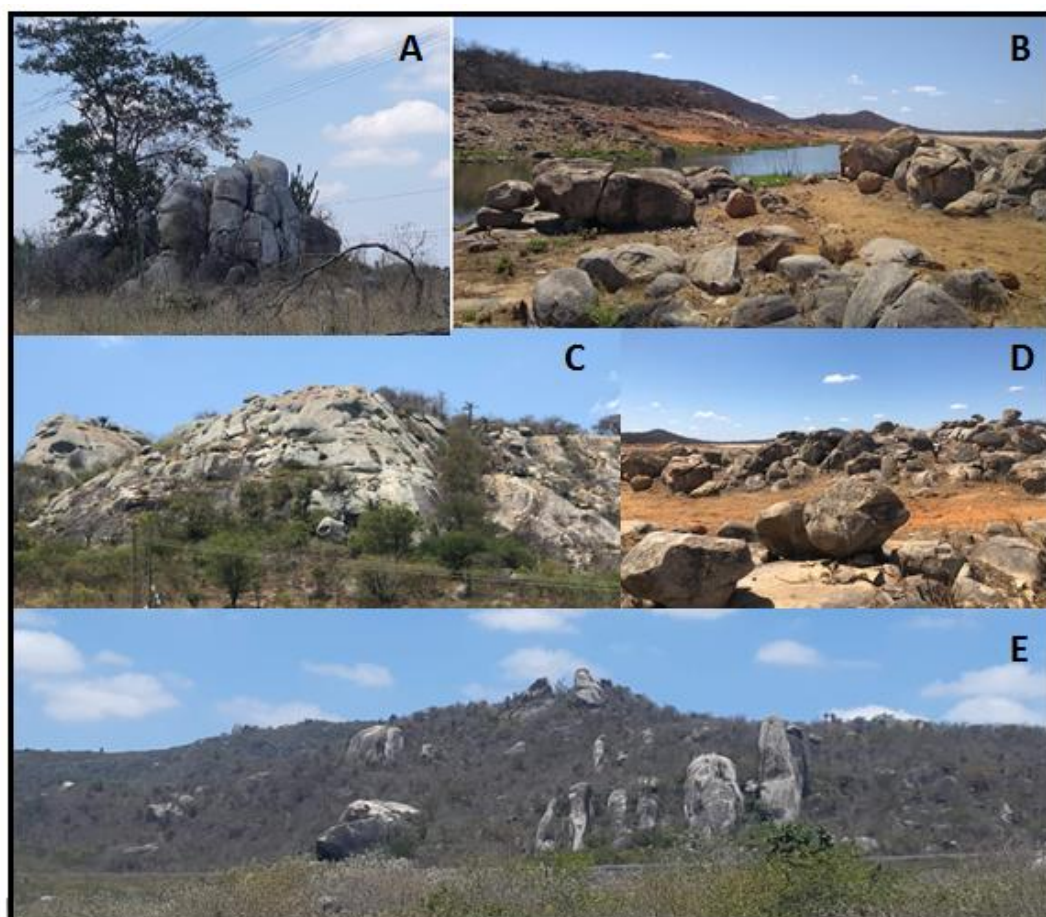


Figura: A – *Tors*, em Brejo da Madre de Deus; B e D - *Boulders*, no entorno da Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE; C - *Tafone* e *Caneluras*, Brejo da Madre de Deus; E - Blocos ou matacões, Brejo da Madre de Deus. Fonte: O autor, 2019.

As marmitas identificadas estão localizadas em cotas altimétricas acima de 400 m, em posição que remetem a knick de encosta, que podem ser observados por meio da quebra, muitas vezes abrupta, no perfil de elevação. Estas quebras de patamar são determinadas por controles estruturais (falhas). No contexto dessas falhas, muitas vezes é possível identificar canais intermitentes e efêmeros na bacia do Riacho Fazenda Velha, onde o padrão de drenagem tem estilo retangular (Figura 58).

Figura 58: Contexto da drenagem na bacia do Riacho Fazenda Velha, Brejo da Madre de Deus.

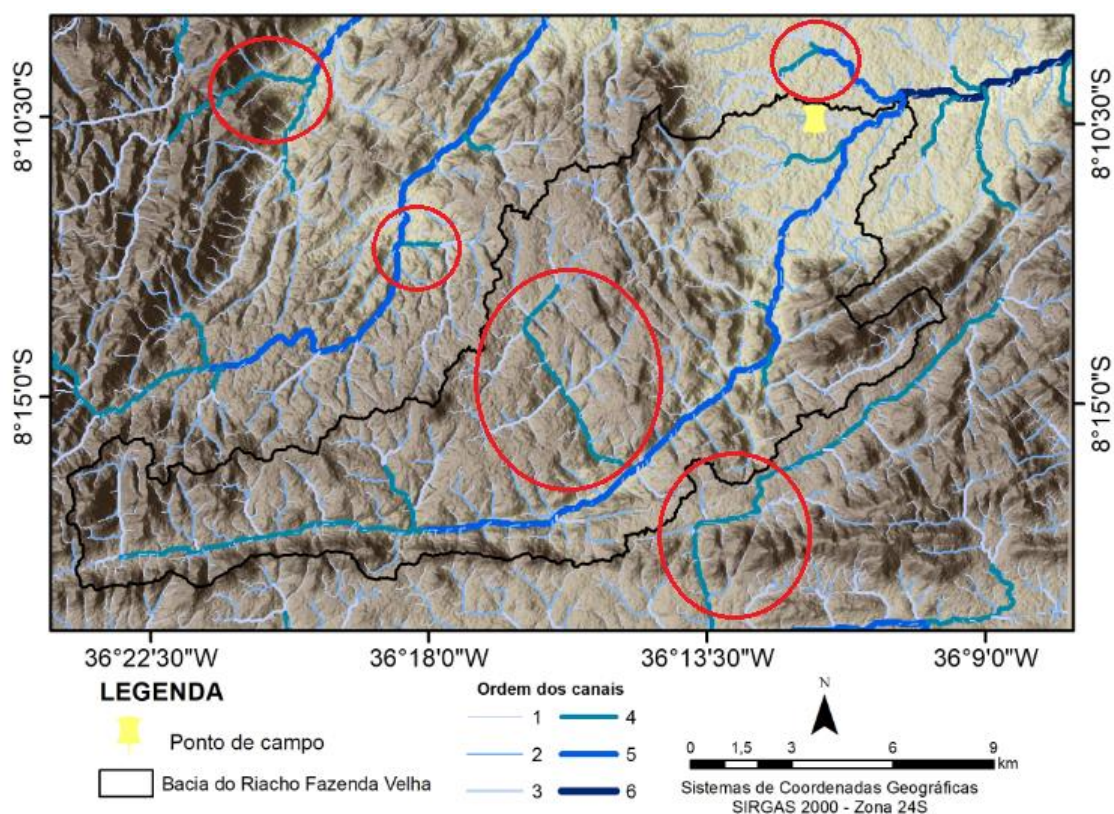


Figura: Em vermelho destacam-se trechos de canais que apresentam padrão retangular. Este tipo de padrão de drenagem é entendido na literatura como um marcador de controle estrutural em relação à drenagem, o que evidencia a ação interna sobre o contexto do relevo, uma vez que os rios são um dos mais eficazes elementos de exumação da paisagem, evidenciando aquilo que vem sendo discutido sobre o importante e decisivo papel de fenômenos endógenos sobre o modelado terrestre, no domínio da Província Borborema. Fonte: O autor, 2020.

5.1.4 Análise morfoestrutural a topografia e a declividade do relevo

Para tentar entender melhor a distribuição das marmitas no contexto do topográfico e do relevo nas áreas investigadas, foram analisados dados relacionados à altitude, declividade

do terreno e a posição das marmitas no que diz respeito à compartimentação geomorfológica local. Deste modo, serão apresentados a seguir dados relacionados à posição das marmitas estudadas em termos topográficos e hipsométricos (tabela 06). Na tabela encontramos dados relacionados à altitude, declividade do terreno, dimensão e morfologia das marmitas.

Tabela 06: Topografia, declividade, dimensão e morfologia das marmitas de dissolução em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro – PE.

TOPOGRÁFICO, DECLIVIDADE, DIMENSÃO E MORFOLOGIA DAS MARMITAS EM BREJO DA MADRE DE DEUS E SALGUEIRO – PE					
PONTOS	COORDENADAS (Lat/Long)	ALTITUDE (em metros)	DECLIVIDADE DO TERRENO (em %)	DIMENSÃO (em metros)	FORMA
P1_BMD	8° 9'51.55"S 36°12'50.20"O	491	2,1	45	Ocelar
P2_BMD	8° 9'53.49"S 36°12'27.16"O	481	0,2	30,5	Ocelar (oval)
P3_BMD	8°10'5.64"S 36°12'30.59"O	489	2,1	10,3	Ocelar
P4_BMD	8°10'7.41"S 36°13'0.75"O	496	0,7	41,04	Ocelar
P5_BMD	8°10'8.69"S 36°13'17.58"O	498	5	68,8	Irregular
P6_BMD	8°12'33.49"S 36°11'40.06"O	499	3,1	35,08	Ocelar
P7_BMD	8°12'38.30"S 36°11'22.89"O	501	3,3	31,16	Ocelar
P8_BMD	8°12'6.72"S 36°11'26.65"O	482	2,4	19,55	Ocelar
P9_BMD	8°10'46.10"S 36° 9'28.71"O	474	2,5	44,83	Irregular
P10_BMD	8°11'14.81"S 36°10'27.91"O	474	0,2	16,67	Ocelar
P11_BMD	8°11'35.42"S 36°12'48.52"O	496	0,2	60,87	Irregular
P12_BMD	8°12'35.03"S 36°12'11.80"O	484	4,1	27,45	Ocelar
P13_BMD	8°16'24.32"S 36°11'44.47"O	640	3,1	16,59	Irregular (forma 8)
P14_BMD	8°16'47.32"S 36°10'33.51"O	877	12,4	14,33	Ocelar
P15_BMD	8° 7'27.71"S 36°11'25.61"O	521	4,2	36,59	Irregular
P16_BMD	8° 8'9.56"S 36°12'14.18"O	482	2,8	17,21	Irregular
P17_BMD	8° 7'46.79"S 36°11'59.30"O	502	1,8	17,62	Ocelar
P18_BMD	8° 8'17.40"S 36°11'49.52"O	491	0,7	26,22	Irregular

P19_BMD	8° 9'16.32"S 36°12'8.21"O	479	2,2	16,33	Fechada
P20_BMD	8° 9'14.37"S 36° 9'58.01"O	470	2,4	5,77	Ocelar
P21_BMD	8° 9'2.77"S 36°10'44.96"O	474	2,1	164,91	Irregular
P22_BMD	8° 8'58.53"S 36°13'38.92"O	506	2,1	64,16	Ocelar
P23_BMD	8° 8'48.17"S 36°13'32.12"O	504	1,9	21,48	Irregular
P24_BMD	8° 8'43.41"S 36°13'50.61"O	491	3,9	9,82	Circular
P25_BMD	8° 9'16.74"S 36°13'48.88"O	510	2,0	22,70	Irregular
P26_BMD	8° 9'8.86"S 36°13'50.42"O	504	0,2	34,32	Ocelar
P27_BMD	8° 9'1.80"S 36°14'17.98"O	496	6,0	33,51	Ocelar
P28_BMD	8° 8'43.36"S 36°14'18.73"O	489	2,9	33,64	Angular
P29_BMD	8° 9'9.15"S 36°13'59.17"O	511	4,7	32,1	Angular
P30_BMD	8° 9'42.33"S 36°13'37.62"O	511	5,3	20,56	Irregular
P31_BMD	8° 9'29.40"S 36°13'53.46"O	516	5,1	8,79	Ocelar
P32_BMD	8° 9'14.86"S 36°13'45.69"O	508	2,0	22,1	Irregular
P33_BMD	8° 9'13.49"S 36°13'31.92"O	502	1,1	15,02	Circular
P34_BMD	8° 9'52.91"S 36°14'36.57"O	743	4,9	34,8	Irregular
P35_BMD	8° 9'49.14"S 36°14'39.85"O	750	0,3	54,9	Irregular
P36_BMD	8°10'24.11"S 36°14'10.16"O	707	6,7	60,1	Fechada
P37_BMD	8°11'10.36"S 36°13'25.64"O	521	0,8	22,40	Ocelar
P38_BMD	8° 7'47.25"S 36°11'23.07"O	503	3,9	17,12	Ocelar
P39_BMD	8°10'27.08"S 36°15'19.23"O	623	2,9	40,72	Ocelar
P40_BMD	8°10'24.37"S 36°15'8.52"O	616	0,2	12,7	Ocelar
P41_BMD	8°10'20.17"S 36°15'16.14"O	622	5,7	7,49	Irregular
P42_BMD	8°10'29.08"S 36°14'57.60"O	646	5,1	15,53	Ocelar
P43_BMD	8°10'48.33"S 36°15'15.59"O	649	3,4	21,29	Fechada
P44_BMD	8°11'14.68"S 36°15'25.19"O	644	5,1	12,75	Circular
P45_BMD	8°10'56.73"S 36°15'18.60"O	640	5,2	18,64	Circular
P46_BMD	8°11'7.83"S 36°15'38.93"O	636	4,5	52,67	Fechada
P47_BMD	8°10'47.37"S 36°15'46.14"O	631	5,5	34,75	Ocelar

P48_BMD	8° 9'21.39"S 36°14'6.06"O	526	1,6	39,1	Retangular
P49_BMD	8°10'53.52"S 36°11'3.06"O	471	4,1	11,36	Ocelar
P50_BMD	8°11'0.91"S 36°10'39.81"O	476	1,7	39,65	Retangular
P51_BMD	8°10'20.35"S 36°11'2.06"O	472	2,7	7,17	Irregular
P52_BMD	8°10'18.58"S 36°10'52.84"O	466	1,9	128	Irregular
P53_BMD	36°10'38.61"O 36°10'38.61"O	464	1,0	53,70	Angular
P54_BMD	8° 9'56.17"S 36°10'42.98"O	469	1,9	11,77	Irregular
P55_BMD	8° 9'52.49"S 36°10'52.89"O	466	2,3	119,11	Irregular
P56_BMD	8°10'50.09"S 36° 9'39.09"O	472	1,8	12,38	Fechada
P57_BMD	8°10'13.57"S 36°11'1.30"O	472	2,3	42,30	Ocelar
P58_BMD	8° 9'45.68"S 36°10'28.64"O	469	0,1	10,41	Fechada
P59_SCC	8°18'26.07"S 38°57'1.51"O	445	0,6	159,44	Irregular
P60_SCC	8°18'30.06"S 38°57'13.96"O	446	1,7	74,65	Ocelar
P61_SCC	8°18'41.74"S 38°57'52.41"O	447	0,4	30,42	Irregular
P62_SCC	8°18'39.02"S 38°57'43.52"O	442	0,1	6,4	Angulosa
P63_SCC	8°19'1.00"S 38°56'13.38"O	438	0,4	38,85	Ocelar
P64_SCC	8°18'20.07"S 38°57'22.19"O	451	0,8	54,33	Irregular
P65_SCC	8°19'26.70"S 38°55'18.75"O	450	0,9	9,18	Ocelar
P66_SCC	8°19'49.49"S 38°55'43.57"O	439	1,3	29,06	Ocelar
P67_SCC	8°19'45.71"S 38°55'40.13"O	441	1,2	40,17	Ocelar
P68_SCC	8°19'39.75"S 38°55'52.54"O	443	2,5	8,71	Ocelar
P69_SCC	8°19'53.18"S 38°55'27.02"O	444	0,7	7,73	Circular
P70_SCC	8°19'48.26"S 38°55'21.04"O	448	0,7	13,39	Ocelar
P71_SCC	8°20'32.80"S 38°55'57.25"O	438	1,9	217,47	Ocelar
P72_SCC	8°17'22.28"S 38°56'19.60"O	458	4,1	7,17	Fechada
P73_SCC	8°17'22.86"S 38°56'25.62"O	459	1,7	14,08	Irregular
P74_SCC	8°19'35.77"S 38°54'44.35"O	433	0,5	26,90	Circular
P75_SCC	8°20'25.70"S 38°55'18.93"O	431	1,6	37,42	Fechada
P76_SCC	8°20'24.48"S 38°55'9.99"O	432	1,2	32,09	Ocelar

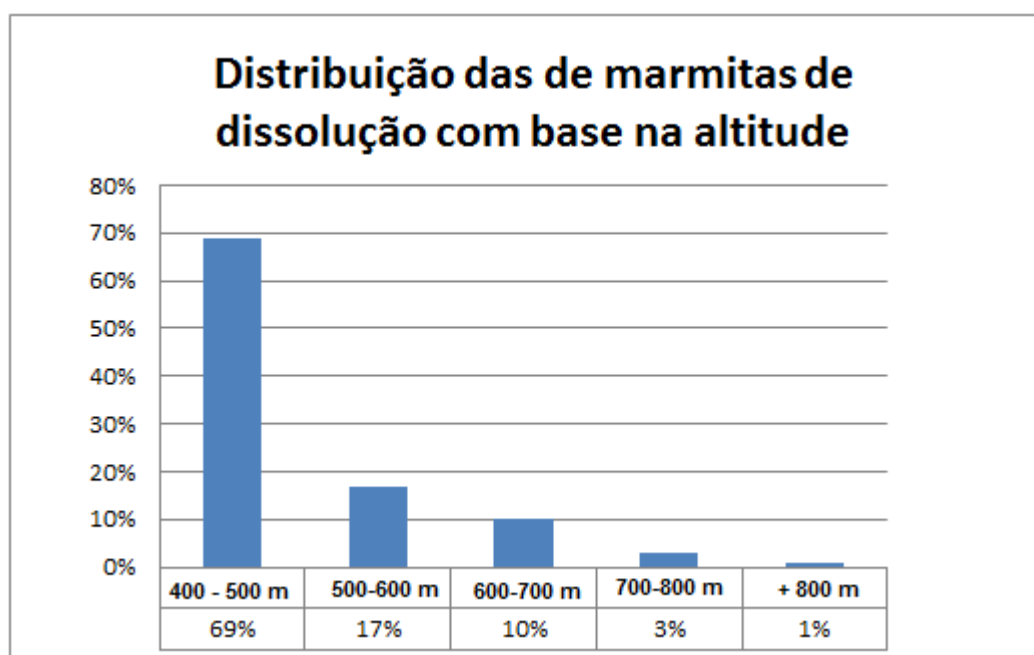
P77_SCC	8°18'36.78"S 38°58'6.35"O	441	4,6	6,06	Fechada
P78_SCC	8°18'25.29"S 38°57'49.24"O	450	2,7	9,52	Irregular
P79_SCC	8°18'25.66"S 38°58'2.88"O	444	3,3	5,25	Irregular
P80_SCC	8°17'21.32"S 38°56'27.73"O	459	0,5	7,47	Ocelar
P81_SCC	8°19'40.45"S 38°54'59.61"O	443	0,9	40,84	Angular
P82_SCC	8°19'23.21"S 38°55'28.84"O	454	3,4	21,10	Circular
P83_SCC	8°17'43.73"S 38°56'24.28"O	453	1,4	10,97	Ocelar
P84_SCC	8°19'19.32"S 38°55'4.13"O	452	0,9	243,9	Ocelar
P85_SLU	8° 4'41.86"S 39°10'35.18"O	518	2,9	199	Ocelar
P86_SLU	8° 6'55.83"S 39°11'10.29"O	447	0,9	67,33	Ocelar
P87_SLU	8° 7'24.46"S 39°11'2.99"O	441	0,1	259,93	Ocelar
P88_SLU	8° 6'40.60"S 39° 9'42.63"O	431	0,4	184	Ocelar
P89_SLU	8° 6'20.20"S 8° 6'20.20"S	449	3,6	27,55	Angular
P90_SLU	8° 6'24.51"S 39°10'29.92"O	450	1,3	31,76	Fechada
P91_SLU	8° 6'17.91"S 39°10'41.86"O	463	7,6	27,15	Angular
P92_SLU	8° 6'49.44"S 39°11'6.64"O	448	1,1	155,18	Irregular
P93_SLU	8° 6'47.77"S 39°11'45.29"O	444	2,4	256,15	Ocelar
P94_SLU	8° 7'26.44"S 39°11'35.46"O	439	2,1	29,41	Ocelar
P95_SLU	8° 6'4.80"S 39° 9'5.06"O	446	2,6	30,59	Ocelar
P96_SLU	8° 4'11.49"S 39°11'17.76"O	518	1,5	29,67	Ocelar
P97_SLU	8° 3'12.85"S 39°13'23.04"O	451	1,0	47,44	Ocelar
P98_SLU	8° 2'43.78"S 39°13'13.62"O	453	2,5	8,10	Circular
P99_SLU	8° 3'30.98"S 39°13'46.46"O	442	0,6	48,91	Ocelar
P100_SLU	8° 3'8.93"S 39°13'57.63"O	448	0,7	258,31	Ocelar

Fonte: O autor, 2022.

A partir da análise dos dados da tabela acima, é possível identificar alguns padrões de distribuição das feições estudadas, no tocante ao contexto topográfico, declividade do terreno, além da dimensão e morfologia. Constata-se que todos os pontos de marmitas identificados estão situados em cotas altimétricas superiores a 400 m de altitude; variando de 877 m à cota

de 431 m. Neste sentido, é importante pontuar que as áreas mais arqueadas em muitos casos sofreram erosão por meio de vários ciclos denudacionais relacionados às mudanças climáticas ao longo do Terciário e Quaternário, o que colabora para a exposição da rocha aos efeitos da atmosfera. O gráfico 07 apresenta a distribuição das marmitas por classe altimétrica.

Gráfico 07: Distribuição das marmitas de dissolução com base na altitude, nas áreas investigadas.



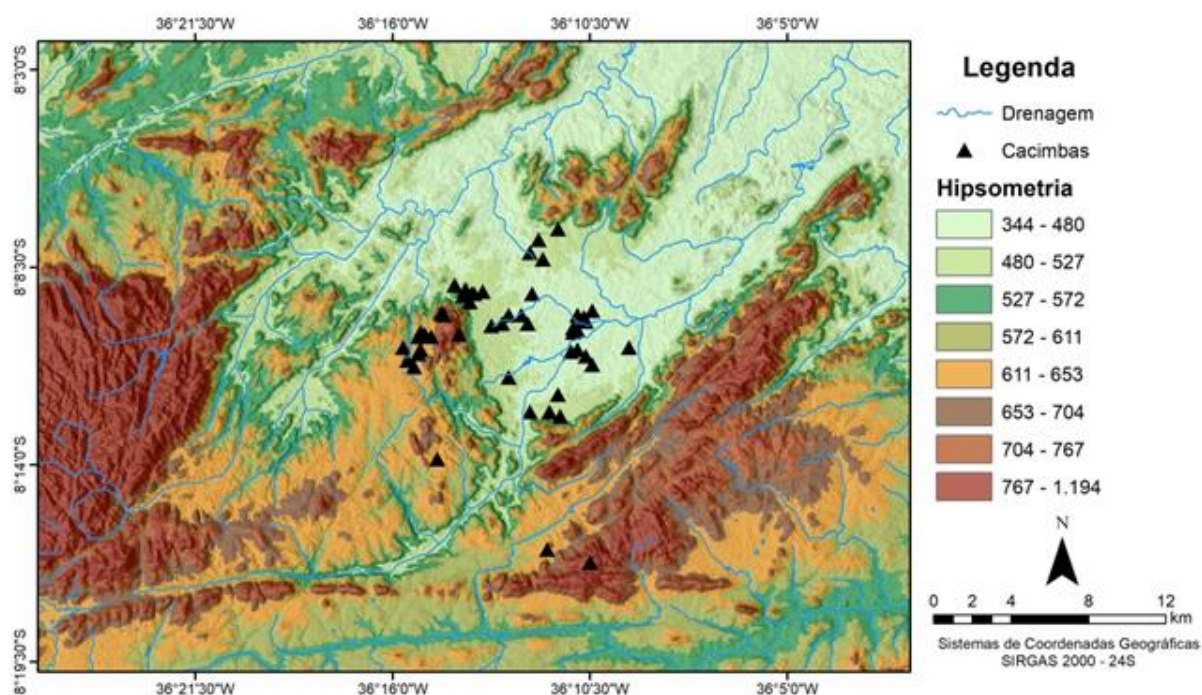
Fonte: O autor, 2022.

A partir da apreciação dos dados expostos acima, é possível perceber que a grande maioria das marmitas identificadas está situada na cota de 400-500 m, correspondendo a 69% do total das feições estudadas, 17% das marmitas estão na cota de 500-600 m, 10% das feições estão na cota de 600-700 m e um percentual muito pequeno, 4% do total, encontra-se acima de 700 (juntando as cotas de 700-800 e mais de 800 m).

5.2.5 Distribuição das marmitas em relação à altitude e declividade no município de Brejo da Madre de Deus – PE

Para melhor compreender a distribuição das marmitas de dissolução em termos altimétricos, em Brejo da Madre de Deus, analisou-se o contexto hipsométrico a partir do mapa retratado a seguir. Nele foi ressaltado a distribuição das microfeições de dissolução em um recorte do município (Figura 59).

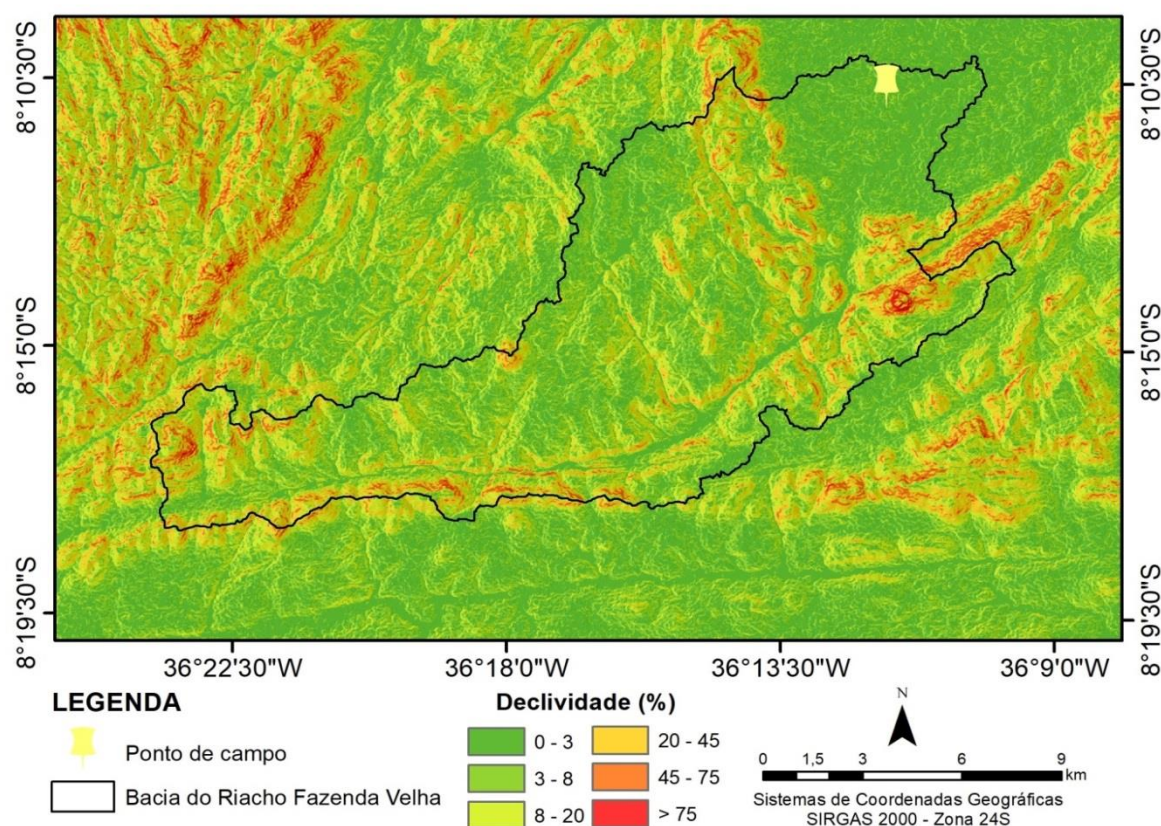
Figura 59: Mapa hipsométrico de Brejo da Madre de Deus, mostrando a distribuição das marmitas de dissolução na área.



Fonte: O autor, 2022.

Observou-se que as marmitas de Brejo da Madre de Deus apresentam uma distribuição altimétrica que vai da cota de 344 a 527 m (tabela 06). Todavia, não se deve anular o fato de que muitas destas feições encontram em cotas mais elevadas, muitas vezes estabelecidas sobre superfícies de cimeiras ou “altos” estruturais. No tocante à declividade foi possível constatar que as marmitas estão distribuídas em superfícies planas com baixa declividade, onde 91% estão em superfície com declividade de até 5%, o que reforça a ideia sobre a gênese das feições ocorrerem apenas em terrenos com declividades baixas, o que favorece o processo de percolação da água em superfície. É importante destacar que apenas 9% das marmitas estudadas ocorrem em superfície com declividade superior a 5% (Figura 60).

Figura 60: Mapa de declividade do terreno da bacia do Riacho Fazenda Velha, onde Brejo da Madre de Deus está inserido.

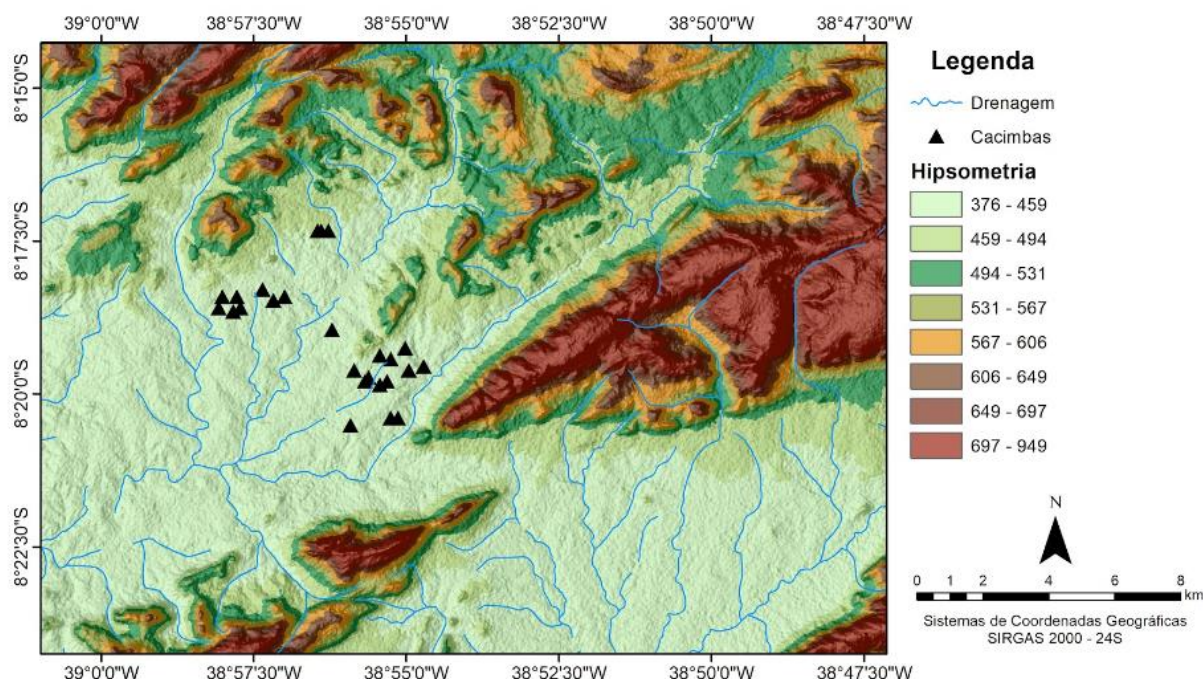


Fonte: O autor, 2022.

5.2.6 Distribuição das marmitas em relação à altitude e declividade no município de Salgueiro – PE

Em Salgueiro, o cenário para distribuição das marmitas em relação à topografia é semelhante ao do que foi verificado em Brejo da Madre de Deus, no agreste do estado. Com base nos dados da tabela 06, é possível apontar os padrões de espacialização das marmitas em localidades onde as contas altimétricas estão entre 400 e 500 metros. A cota máxima identificada da disposição das feições no contexto do município foi de 518 m de altitude e a cota mínima foi de 431 metros. Vale destacar que ocorrem marmitas em condições de altitudes mais elevadas nos municípios de Salgueiro e Brejo da Madre de Deus (Figura 61), tal como em outras localidades do Nordeste brasileiro, como já identificados por vários autores (LIMA et al., 2019; BASTOS et al., 2021).

Figura 61: Hipsometria na área do Distrito de Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE, destacando as marmitas representadas por triângulos pretos.

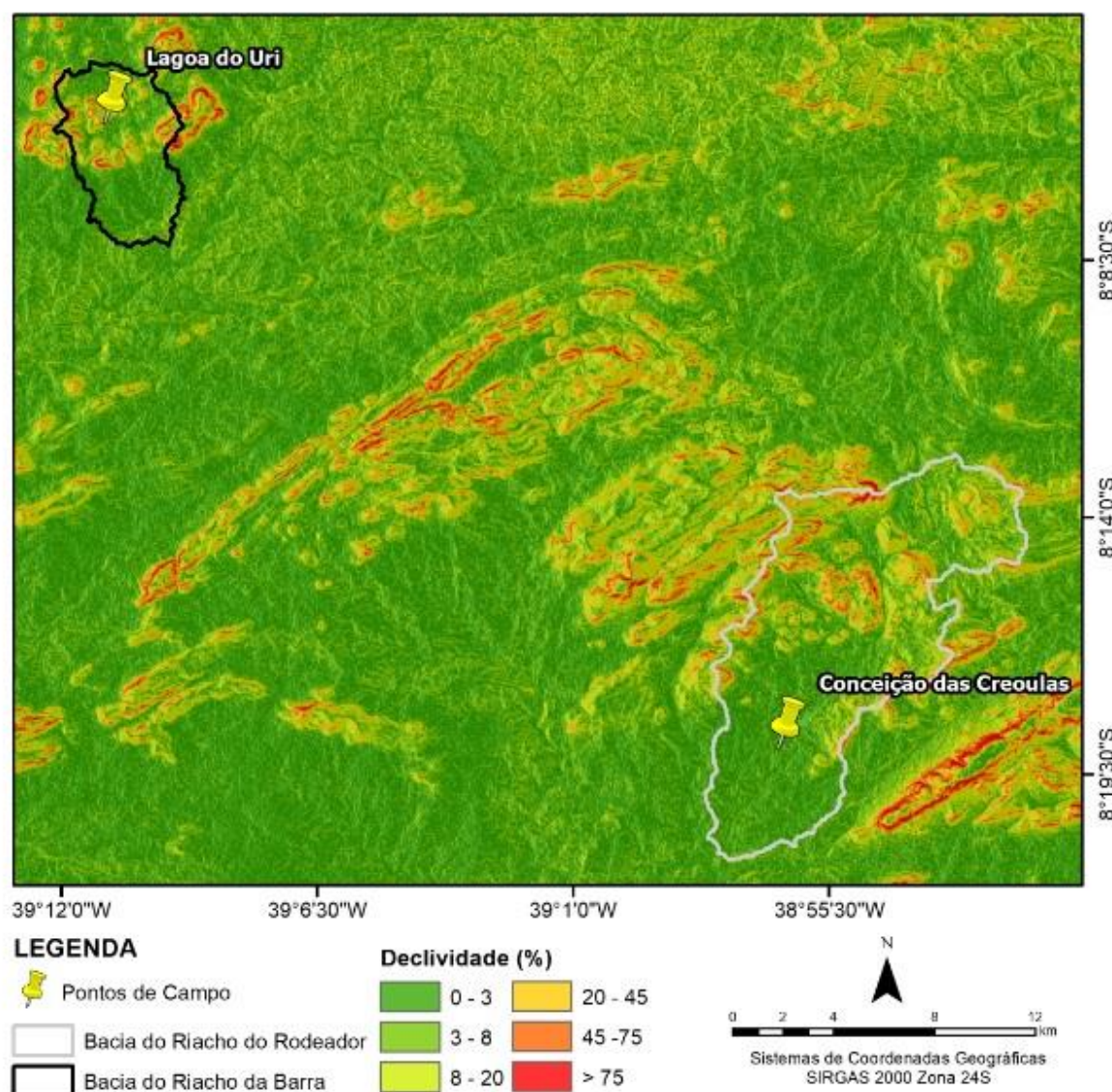


Fonte: O autor, 2022.

Com base na Figura acima pode-se identificar a ocorrência de marmitas em cotas estabelecidas entre 370 e aproximadamente 500 metros de altitude. O contexto topográfico no qual as marmitas estão inseridas, em sua maioria, equivale às morfologias de pedimentos, desenvolvidos sob terrenos onde as condições de declividade da superfície são inferiores, em quase sua totalidade, a 4,6%, com apenas um ponto sobre uma área com declividade superior, a 7,6%.

A figura 62 ilustra a distribuição das marmitas no Distrito de Conceição em relação à declividade do terreno. Sobre o mapa é possível identificar as localidades de Conceição das Crioulas e a Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro. Observa-se ainda que que na localidade de Conceição das Crioulas, no contexto da bacia do Riacho do Rodeador, ocorre um valor de declividade muito baixo correspondente às áreas de maior ocorrência de marmitas. A declividade do terreno nestas áreas está no patamar de 0 - 3%.

Figura 62: Mapa de declividade da bacia, destacando as duas áreas de estudo no município de Salgueiro – PE.

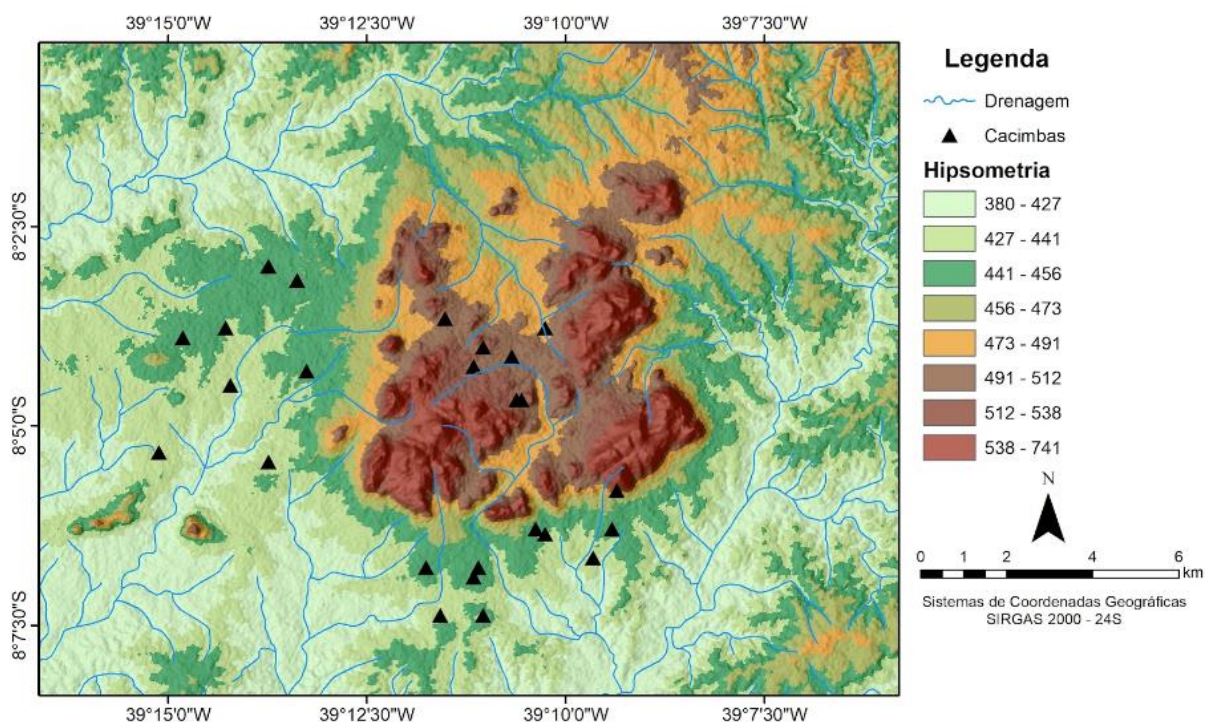


Na Lagoa Uri de Cima, dentro do contexto da bacia do Riacho da Barra, observa-se um padrão de declividade um pouco menor, sobretudo na porção mais ao sul da bacia. Contudo, levando-se em consideração o padrão pedrominante no mapa, temos declividade que não excedem os 7%, (Tabela 06), como ocorre, em via de regra, com os terrenos onde as marmitas se desenvolvem em outras partes do mundo e do Nordeste do Brasil (TIWDALE, 1998; OLLIER, 1975; MIGÓN, 2006; MAIA e BEZERRA, 2014).

No que diz respeito à relação entre as mamitas e a hipsometria, no Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, temos um contexto em que as feições estão distribuídas em cotas um pouco mais elevadas do que aquelas observadas no Distrito de Conceição das Crioulas, visto

que foi identificada a ocorrência de marmitas em cotas relativamente baixas (380 a 427m), todavia, elas também podem ser encontradas em elevações que excedem os 500 metros de altitude (Figura 63).

Figura 63: Mapa hipsométrico da localidade no entorno da Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro – PE, com enfoque na posição das marmitas em relação à topografia.



Fonte: O autor, 2022.

5.2.7 Distribuição espacial das marmitas e a compartimentação do relevo

Para o desenvolvimento deste tópico, recorreu-se a algumas classificações que pudessem nos dar suporte à posição das marmitas no contexto regional. Neste sentido, levou-se em consideração a proposta de compartimentação do Planalto da Borborema de Corrêa et al (2010), propondo a existência das seguintes unidades morfoestruturais: Cimeira Estrutural São José do Campestre, Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, Depressão Intraplanáltica do Pajeú, Depressão Intraplanáltica do Ipanema, Depressão Intraplanáltica Paraibana, Depressão Intraplanáltica Pernambucana, Maciços Remobilizados Pernambuco-Alagoas e Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal (Figura 64).

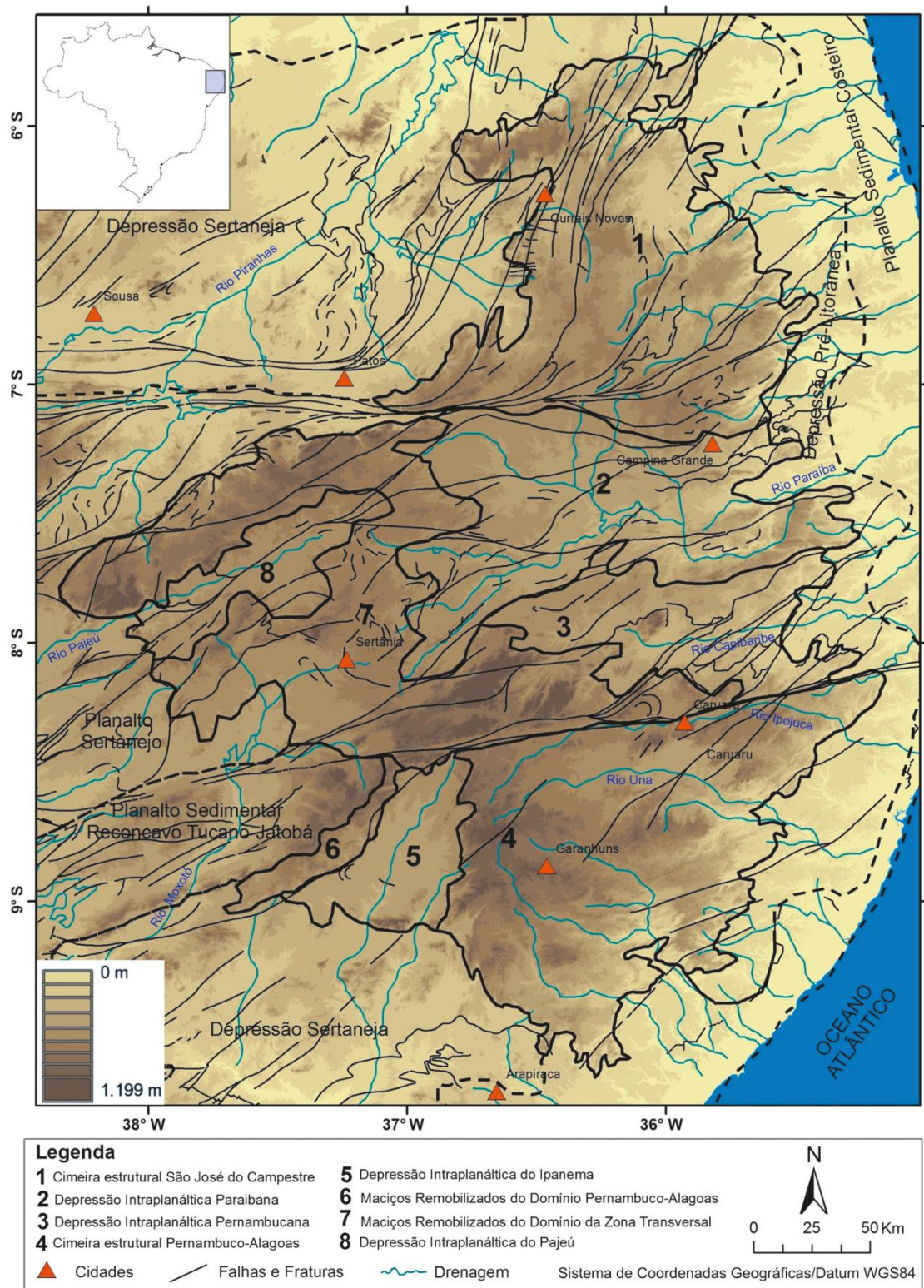
De acordo com esta classificação a área de estudo em Brejo da Madre de Deus estaria situada na unidade denominada Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal. Já

as marmitas de Salgueiro não são abarcadas por tal classificação, já que o município fica em outra unidade, a Depressão Sertaneja.

Ainda no tocante à distribuição das marmitas no contexto do relevo, foi produzido um mapa hipsométrico (Figura 65) com pontos de ocorrência de marmitas nas áreas de estudo. Por meio deste mapa, foi possível estabelecer correlações entre a posição do terreno ocupada pelas marmitas e sua altitude. Foram elaborados alguns perfis topográficos para ilustrar a distribuição das marmitas em relação às faixas de altitude, e observou-se que todos os pontos analisados estão em cotas acima de 470 metros.

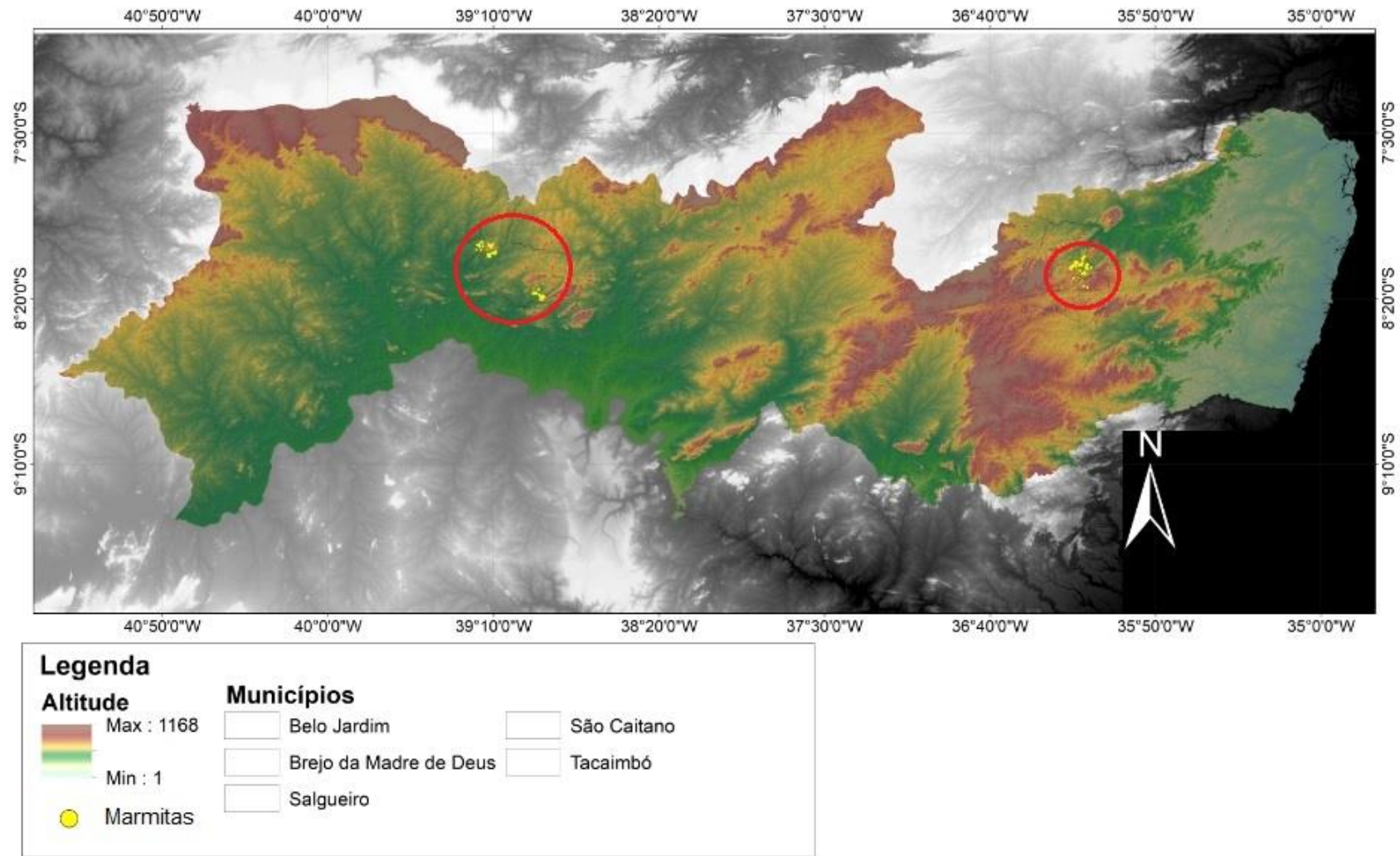
Sobre o contexto da posição das marmitas em relação ao relevo de uma forma mais regional, buscou-se correlacionar a localização dos pontos, onde foi realizada a pesquisa, com a classificação proposta do relevo de Pernambuco proposto por TORRES & PFALTZGRAFF (2014). A tipologia proposta pelos autores tomou como referência o “Zoneamento Agroecológico do Nordeste” (SILVA et al., 1993) e o “Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco” (SILVA et al., 2001). Em se tratando desta compartimentação, as marmitas estudadas em Brejo estariam dispostas sobre o compartimento do Planalto da Borborema e as de Salgueiro estão distribuídas sobre Depressão Sertaneja (Figura 66).

Figura 64: Compartimentação morfoestrutural do Planalto da Borborema.



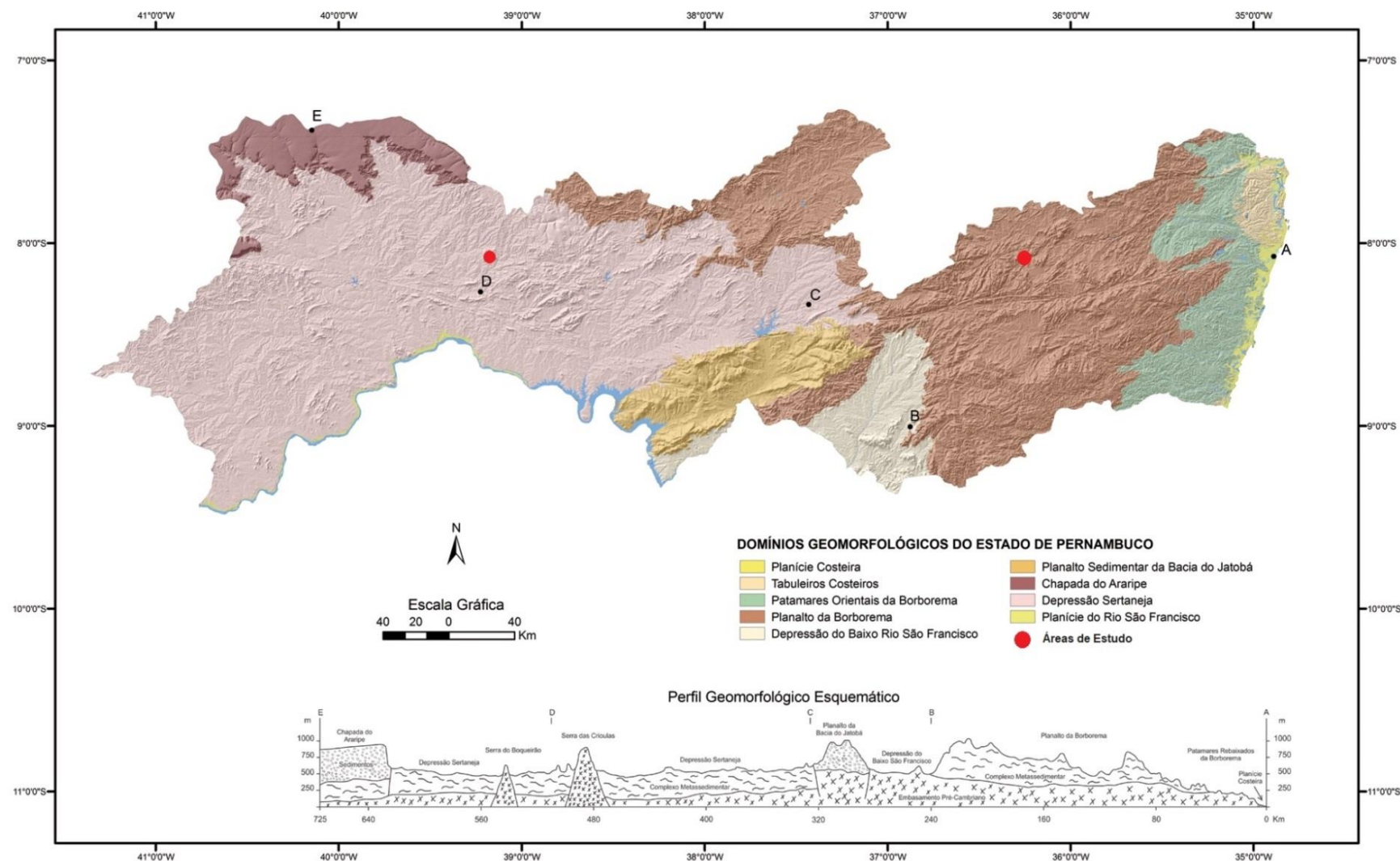
Fonte: CORRÊA et al. (2010).

Figura 65: Hipsometria do estado de Pernambuco, com destaque para os pontos amarelos evidenciando as marmitas de dissolução.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 66: Domínios Geomorfológicos do estado de Pernambuco.



FONTE: Adaptado de TORRES & PFALTZGRAFF (2014).

Ainda sobre a discussão supracitada, Brejo da Madre de Deus apresenta-se localmente no contexto de uma depressão inter-planáltica largamente aplainada e pouco dissecada, decorrente das diversas fases de denudação pós-cretácea da Borborema, como apontam Corrêa (2001), Corrêa et al. (2009), Amorim (2015), entre outros. Neste sentido, é possível identificar um ambiente dominado por pedimentos rochosos, com cobertura detrítica muitas vezes, com cotas altimétricas em torno de até 500 m de altitude (SILVA et al., 2017), além de feições mais elevadas estreitamente relacionadas controle estrutural dominante no contexto da Zona Transversal.

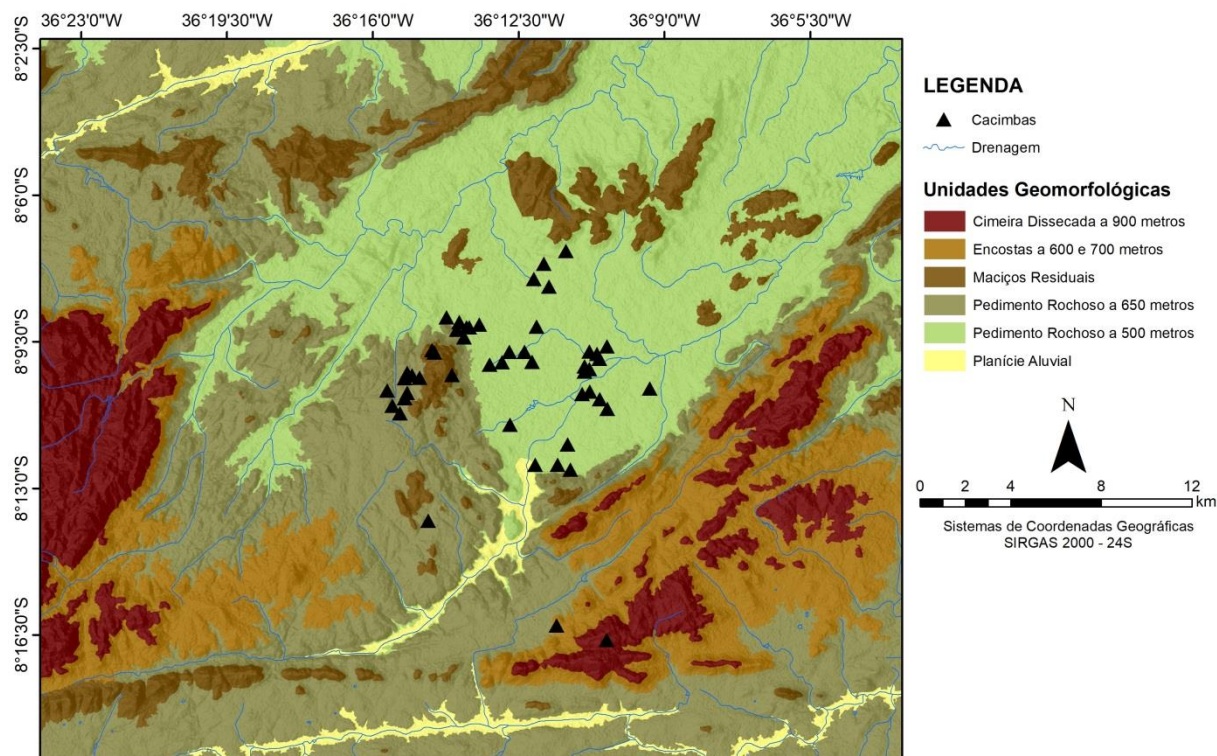
As marmitas situadas no município de Salgueiro estão no domínio geomorfológico da Depressão Sertaneja. No que diz respeito àquelas encontradas no entorno da Lagoa Uri de Cima, verifica-se um posicionamento sobre curtas rampas de pedimento, no domínio dos maciços residuais com inselbergs e inselgebirges (MUTZENBERG et al., 2013; TORRES & PFALTZGRAFF, 2014). Já as microformas de Conceição das Crioulas, apresentam-se sobre um alvéolo topográfico rebaixado, delimitado por conjuntos de pedimentos dissecados da Depressão Sertaneja, que se caracterizam por uma topografia suavemente ondulada, intercalada por interflúvios mais elevados.

Embora as marmitas de Brejo e Salgueiro estejam situadas em domínios Geomorfológicos distintos, não foram identificadas grandes diferenças entre elas, seja no que diz respeito às dimensões, quanto a qualquer outro critério morfométrico, genético ou litológico-estrutural (SILVA, 2007; CORREA & SILVA, 2006, 2007, 2008).

5.2.7.1 Marmitas de dissolução e a compartimentação de relevo em Brejo da Madre de Deus – PE

Em se tratando da distribuição das marmitas no contexto do relevo de Brejo da Madre de Deus, pode-se afirmar que as micro-feições estão em sua mairia estabelecidas sobre áreas de pedimentos rochosos, sejam eles com cotas altimétricas de 500 ou 650 metros (Figura 67). É possível identificar ainda a ocorrência de marmitas sobre áreas de maciços residuais e até mesmo em cimeiras, já que as masrmitas podem se desenvolver em topografias de maior altitude desde que a declividade seja baixa, como discutido no tópico anterior.

Figura 67: Distribuição das marmitas de dissolução em Brejo da Madre de Deus e a compartimentação de relevo local.

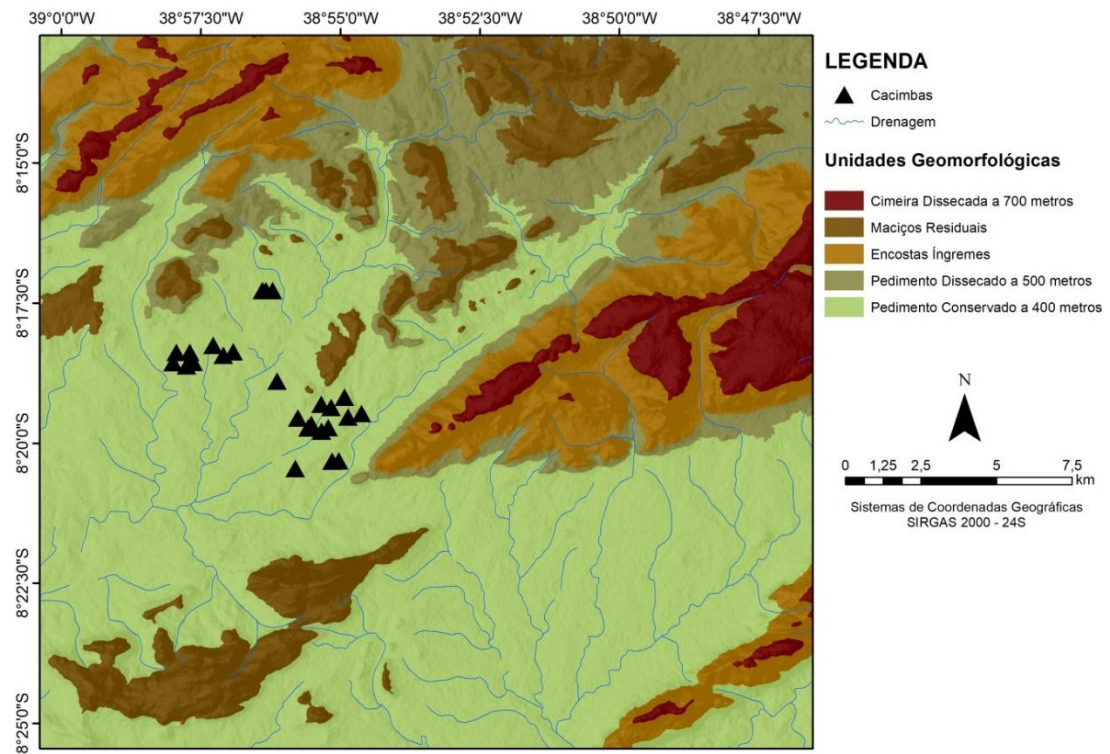


Fonte: O autor, 2022.

5.2.7.2 Marmitas de dissolução e a compartimentação de relevo em Salgueiro – PE

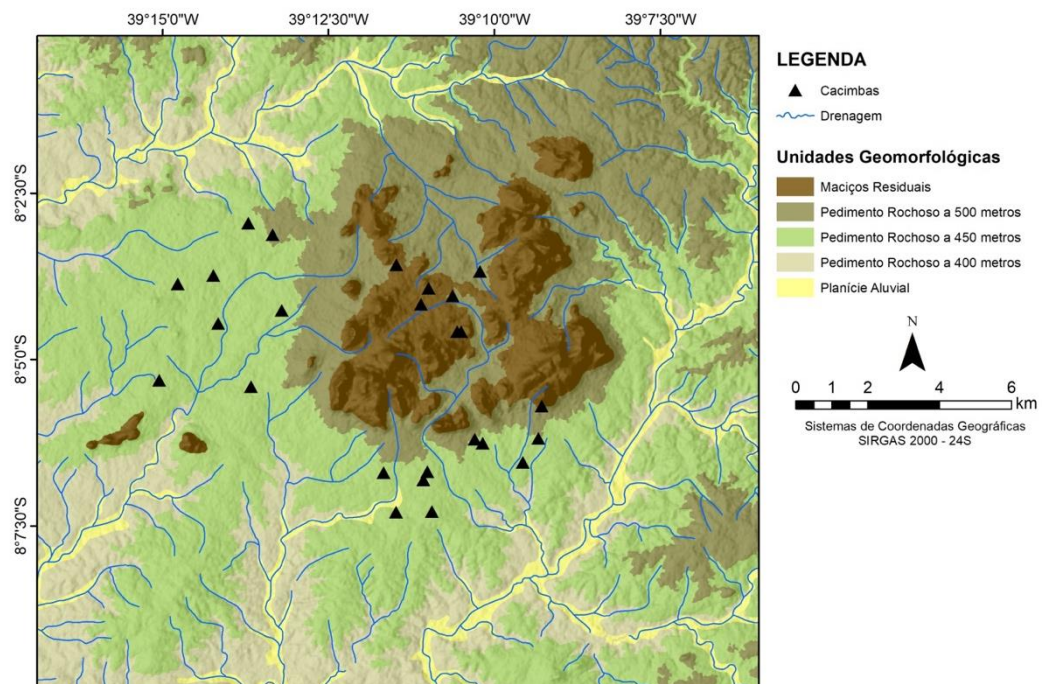
Em Salgueiro, a situação é semelhante, visto que as feições aqui investigadas são típicas de ambientes onde a fator denudação é crucial para sua gênese, sendo assim, as localidades estudadas neste município apresentam um relevo onde se destaca a predonância de pedimentos. Com base no mapa (Figura 68) é possível destacar a ocorrência mais expressiva das marmitas nos compartimentos topográficos menos elevados (pedimento conservado, com cotas de até 500 m), o que demonstra um padrão diferente do município de Brejo da Madre de Deus. Em se tratando da distribuição das marmitas no contexto do Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, verificou-se que sua ocorrência se dá sobre os pedimentos rochosos em diferentes cotas altimétricas. Vale ressaltar a ocorrência de marmitas sobre compartimentos mais elevados, associados aos maciços residuais, onde as cotas altimétricas são mais elevadas, acima de 500 m, além dos pedimentos rochosos com cotas de 500 e 450 m de altitude (Figura 69).

Figura 68: Distribuição das marmitas de dissolução no Distrito de Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE, e o contexto do relevo.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 69: Distribuição das marmitas de dissolução no Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima e seu entorno, em Salgueiro – PE, e a compartimentação do relevo.



Fonte: O autor, 2022.

A configuração da paisagem geomorfológica no Sítio e seu entorno é marcada pela ocorrência de superfícies pediplanares com curtas rampas de pedimento entre maciços residuais, onde são observadas elevações maiores, com inselbergs e serras alongadas, estruturadas em litologias do Ciclo Brasileiro (MUTZENBERG, D. et al., 2013). A Suíte Intrusiva Shoshonítica Salgueiro/Terra Nova, na qual o sítio encontra-se inserido, é uma dessas suítes, que se encontra ressaltada na paisagem também pela sua litologia mais resistente, como já destacado em sessões anteriores (PFALTZGRAFF; ARRAES; MIRANDA, 2002).

5.3 RELEVOS GRANÍTICOS EM BREJO DA MADRE DE DEUS E SALGUEIRO - PE

Em vários estudos que versam sobre a taxonomia das feições morfológicas graníticas, é comum agrupá-las em dois grupos: macro-formas e microformas (Quadro 01). As microformas podem ser subdivididas em mais dois tipos: microformas de meteorização e microformas de fraturamento (RODRIGUES et al, 2022).

Quadro 01: As macroformas e microformas desenvolvidas em terreno granítico.

Macroformas	Inselbergs e/ou Bornhardts	
	Lajedos e afloramentos verticalizados	
Microformas	Microformas associadas a blocos graníticos/saprolitização	<i>Boulders</i>
		<i>Caos de blocos</i>
		<i>Tors</i>
		<i>Castle Koppies</i>
	Microformas de Meteorização(dissolução)	<i>Tafoni</i>
		<i>Alvéolos</i>
		<i>Caneluras/Karren</i>
		<i>Gnammas</i>
		<i>Flared Slopes</i>
	Microformas de fraturamento	<i>Split Rock</i>
		<i>Poligonal Cracking</i>

Fonte: Adaptado de Maia e Nascimento (2018), Rodrigues (2018), Rocha (2019) e Bastos et al. (2021).

As feições graníticas se destacam na paisagem por apresentar formas intrigantes. Sobre isso, Rocha et al. (2019) afirma:

Feições graníticas se destacam por conter uma aparência rústica, sendo singular paisagem. Sua origem e evolução estão

vinculadas a existência de um paleomanto de alteração, evidenciando fases erosivas, desencadeadas em períodos de morfogênese ativa, que removeram parcialmente os detritos friáveis e expôs, através de controle litológico e estrutural, as formas mais resistentes, portanto residuais. Diante disso, esses ambientes demonstram valores científico e estéticos relevantes para a valorização do patrimônio geomorfológico (ROCHA et al., 2019).

Os terrenos constituídos por rochas graníticas apresentam uma ampla diversidade de paisagens, tanto na microescala como no conjunto regional de formas de relevo (MIGÓN, 2006). Este conjunto diversificado de paisagens ligadas conFiguram localidades com interesse geomorfológico, uma vez que adquiriram, através da percepção humana, um valor derivado, passando a ser entendidos como patrimônio geomorfológico, logo percebe-se seu valor e significado para a sociedade em geral (MEIRA et al., 2010).

Neste sentido, a partir da discussão aqui levantada sobre a beleza, singularidade e exuberância das paisagens graníticas, foi inventariado as feições deste tipo encontradas nas localidades investigadas, visto que elas ocorrem em grande número e e extensa distribuição nas paisagens da área de estudo da pesquisa.

5.3.1 Feições graníticas nos municípios de Brejo e Salgueiro – PE

Neste tópico serão identificados os tipos de feições graníticas existentes nas áreas de estudo, tanto as macroformas como as microformas, segundo a classificação proposta por Maia e Nascimento (2018). Estes tipos de feições ocorrem de forma ampla na região Nordeste, o que torna mais fácil a realização de comparações. As formas encontradas nas áreas investigadas são: macroformas – inselbergues - e microformas - *Tors*, *Boulders*, *Tafoni*, *Caneluras*, *Blocos* ou *Matacões*.

5.3.1.1 Macroformas graníticas

5.3.1.1.1 Inselbergues

Os inselbergues são formas de relevo característicos das depressões sertanejas na região Nordeste do Brasil e constituem uma das mais interessantes formas das paisagens tropicais (PEPIT, 1990). Trata-se de massas rochosas em geral côncavo-convexas isoladas ou

agrupadas ao longo de lineamentos estruturais, resultantes da erosão diferencial, em geral, formada pela exposição subaérea de um batólito granítico, com dimensões variadas e de vários tipos: morro isolado, morro cônico, morro convexo-côncavo recoberto inteiramente por regolito, cristas rochosas domos rochosos e kopje ou tor (YOUNG, 1972; OSBORNE, 1985; GOUDIE, 2004; MAIA et al., 2015).

Em geral os inselbergues apresentam escarpas íngremes, fato que impossibilita a permanência da alteração superficial resultando no afloramento contínuo do embasamento. A ocorrência destas formas é comum em climas áridos e semiáridos, mas sua origem está associada a sistemas erosivos associados ao ambiente tropical e subtropical, onde o intemperismo profundo originou espessos regolitos, cujo a remoção ocorrerá em climas mais secos (MATMON et al., 2013; ROMER, 2007; GOUDIE, 2004).

Dessa forma, os inselbergues constituem um remanescente de erosão que pode fornecer informações importantes sobre a evolução geomorfológica dos terrenos em que ocorrem (MATMON et al., 2013). No Nordeste brasileiro, vastas paisagens são dominadas por inselbergues, como os identificados nos municípios pernambucanos investigados na presente pesquisa (Figura 70).

Sobre a distribuição dos inselbergues Thomas (1978) anuncia que onde existem escarpamentos, inselbergues são geralmente controlados por fatores estruturais, como pode-se evidenciar pela ocorrência dessas feições em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro, onde as características geológicas, litológicas, geotectônicas e climáticas são determinantes para a ocorrência de relevos graníticos.

Figura 70: Inselbergues – Brejo da Madre de Deus – PE.

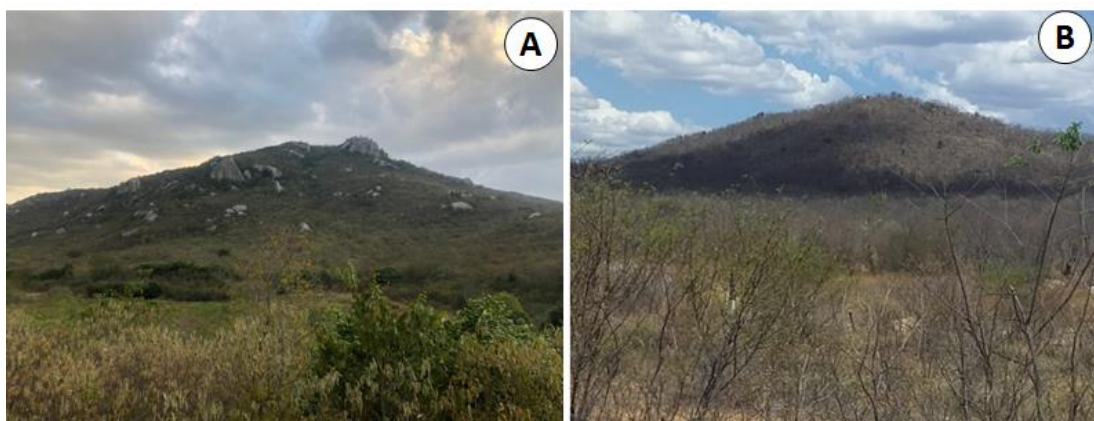




Figura: Inselberques (a), (b) e (c). Fonte: Acervo do autor, 2019.

5.3.1.2 Microformas graníticas

5.3.1.2.1 *Tors*

Uma das definições trazidas por Linton (1955) para *Tors* diz que estas feições são colinas residuais em estágio final de erosão pelo recuo das vertentes. Ehlen (2006) afirma que são afloramentos isolados de rocha, sendo onipresentes em terrenos graníticos, e particularmente, embora não exclusivamente, associados a relevos elevados. A forma e tamanho dos tors são extremamente variados e controlados por padrões de fraturas (MIGÓN, 2006a). Neste contexto, várias são as teorias propostas para o desenvolvimento dos tors, sendo a teoria da etchplanação a mais aceita (EHLÉN, 2006). Nas áreas aqui retradas foi possível identificar Tors nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro (Figura 71). O forte controle estrutural, associado a rochas monolíticas tabulares em estrutura graníticas com tendências gnáissicas, típico de regiões que sofreram por diversos ciclos orogenéticos e magmáticos, tal como na área do presente estudo, são fatores decisivos para a gênese dos *Tors*.

A origem dos *Tors* está associada ao fraturamento da crosta superficial sobre rochas cristalinas, que se fragmentam no sentido vertical e horizontal, onde por entre as fraturas, que seguem padrões retos, acabam por desagregar blocos de rochas de uma massa em forma de cubo. Com o tempo, as linhas de fraturas favorecem a percolação da água que intemperiza as áreas fraturadas, formando argilominerais. O material alterado vai sendo removido e os blocos mais coesos ficam amontoados como se formassem peças sobrepostas (Figura 72).

Figura 71: Exemplos de feições do tipo Tors em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro – PE.

A

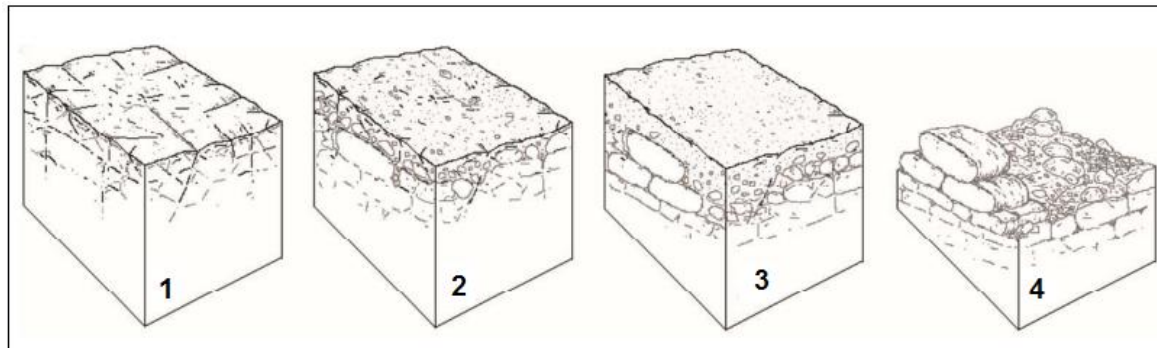


B



Figura: a) Tors encontrado em Brejo da Madre de Deus, na localidade de Quati; b) Estrutura em Boulders com presença de Tors em Salgueiro, na localidade do Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima. Fonte: O autor, 2019.

Figura 72: Esquema gráfico sobre os estágios de formação de feições do tipo Tors.



Fonte: Maia e Nascimento, 2018.

5.3.1.2.2 Boulders

Em geomorfologia os boulders são compreendidos como formas graníticas residuais que se apresentam como blocos de rochas que restam em uma superfície fortemente afetada por processos de exumação da paisagem. As feições são resultantes da remoção parcial dos produtos de alteração do granito (grus) onde apenas os detritos friáveis de menor calibre são removidos restando os blocos de granito (boulders) parcialmente alterados (TWDALÉ, 1995; MAIA E NASCIMENTO, 2018; MIGÓN, 2006).

Em se tratando dos boulders identificados na área de estudo (Figura 73), pode-se afirmar que eles são modestos, quando comparados aos campos de blocos que ocorrem em Quixadá, no Ceará, por exemplo, ou mesmo na Paraíba, mas não menos importantes para entender a evolução da paisagem local, onde denota-se o forte ataque às rochas aflorantes, que mesmo resistentes, sofrem com a erosão diferencial, em especial em seus pontos frágeis nas estruturas e micro-estruturas de deformação e alteração.

Figura 73: a) Boulders às margens de um canal fluvial na localidade do Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima; b) Boulders no entorno da Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

5.3.1.2.3 Blocos ou Matacões

De acordo com Guerra (2005) os matacões são blocos arredondados de rochas compactas existentes em áreas de afloramentos associados às paisagens dominadas pelos *Tors*

e Boulders. Christofolletti (1968) designa matacões como fragmentos de rocha fresca emergido de um manto de alteração, estando bem assentados em sua base. Eles apresentam volume e dimensão de escala decamétrica e dominam as áreas circunvizinhas. Os empilhamentos de blocos e os grandes matacões testemunham a presença de redes de diaclases.

Este tipo de forma tem ampla distribuição geográfica, em diferentes regiões climáticas (CHRISTOFOLETTi, 1968; BIGARELLA, 1995). Os aspectos aqui apresentados como determinantes para o desenvolvimento dos matacões são a base para o entendimento genético destas feições graníticas, sendo comum sua ocorrência nas áreas de estudo, tal como identificados em diversas localidades em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro – PE (Figura 74).

Figura 74: Blocos ou matacões em inselbergues em Brejo da Madre de Deus – PE.

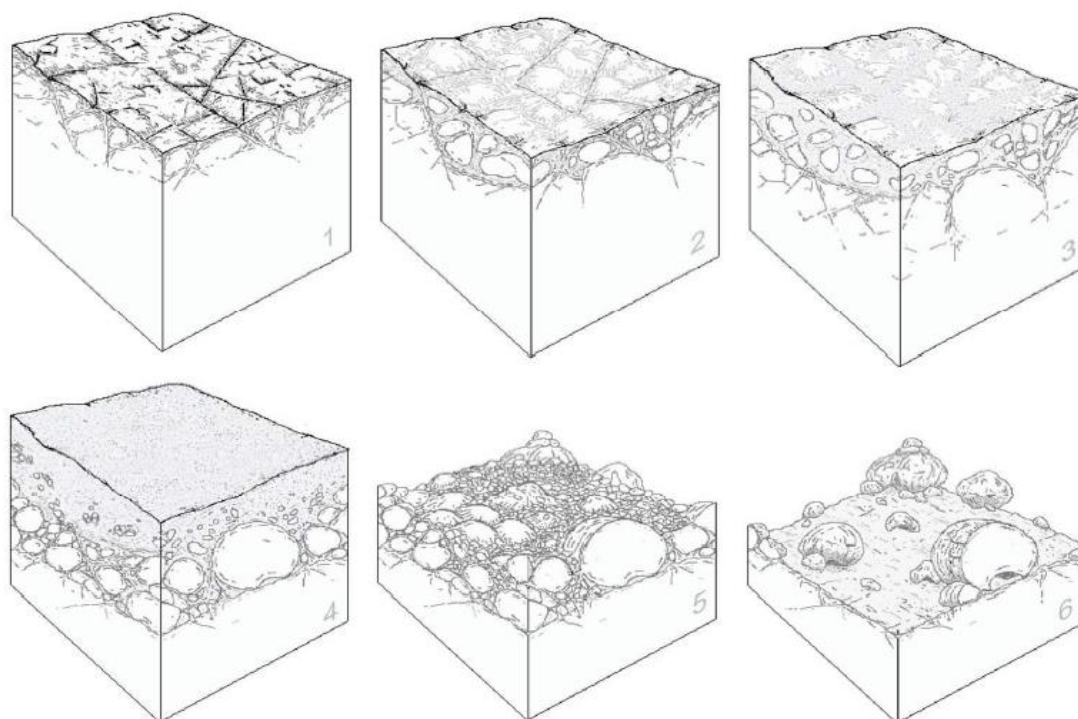


Fonte: Acervo do autor, 2019.

Ao abordar fenômenos associados a formação de relevos reliquiais, em estudo sobre processos pedogetéticos, morfogenéticos e sedimentológicos em ambientes tropicais e subtropicais, Bigarella (1995) propõe que os matacões são formas oriundas do intemperismo químico, que ainda em subsuperfície, onde a remoção por erosão do material neoformado, associados à decomposição esferoidal, que tende a deixar na superfície uma acumulação residuais de blocos e matacões.

Na fase evolutiva esfoliação esferoidal, os blocos de granito parcialmente intemperizados, constituem formas relictuais de formato arredondado que se desenvolveram in situ, primeiro pelo fraturamento poligênico acompanhado pela esfoliação esferoidal, sendo esta a responsável por lhe conferir suas formas atuais (Figura 75).

Figura 75: Esquema gráfico sobre a formação de blocos ou matacões.



FONTE: MAIA e NASCIMENTO, 2028.

5.3.1.2.4 *Tafoni*

Tafoni é uma palavra de origem italiana que pode significar uma perfuração ou uma janela. Em geomorfologia esta expressão toma outros contornos e em geral designa uma caverna rasa ou parcialmente oca. Todavia, outros autores defendem que o termo teria sua etimologia ligada ao idioma grego, sendo derivado de "Taphos", que traduzido para o português significaria "Tumba" (VIDAL ROMANI e TWIDALE, 2005; MAYOR RODRÍGUEZ, 2011). O termo pode ter sido ainda usado pela primeira vez é na ilha de Córsega, na França, e significa perfuração, assim como no italiano (ROQUÉ et al., 2013).

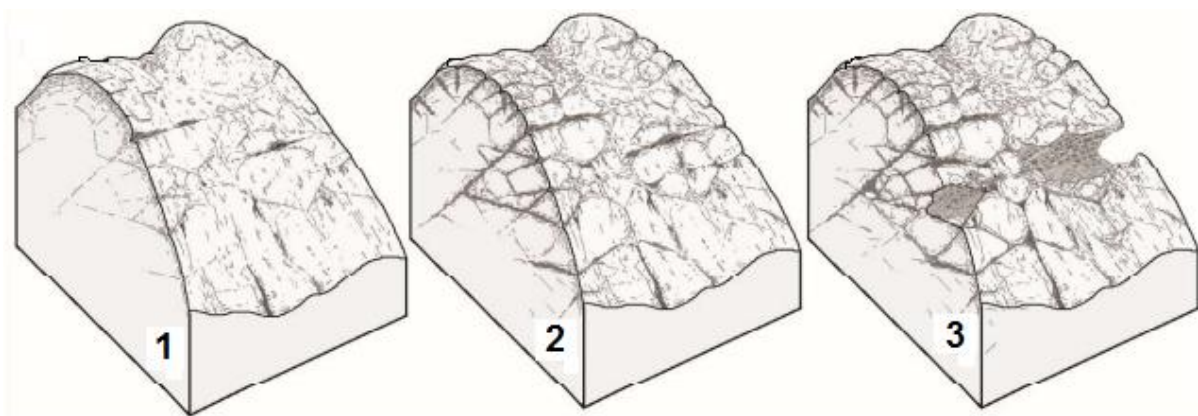
Waldherr et al (2020) afirma que em geral o termo é empregado para caracterizar depressões ou cavidades que ocorrem nas laterais de domos rochosos e inselbergues. Estas cavidades apresentam tamanhos variados, podendo ter alguns centímetros de diâmetro ou até vários metros. Elas podem ocorrer sobre o substrato rochoso granítico-gnáissico, comumente nas laterais de monólitos e escarpas, em distintas cotas altimétricas (VIDAL ROMANI e TWIDALE, 2005; WALDHERR et al., 2020).

Estas feições têm sua origem resultante do intemperismo cavernoso, sendo este aspecto identico aos mecanismos de controle da formação dos tafoni (GOUDIE, 2004; HEJL, 2005). Sendo assim, o autor propõe que a formação dos tafones sejam agrupados em quatro categorias:

1. Propriedades mineralógicas e estruturais das rochas hospedeiras;
2. Elementos topográficos independentes da formação do tafoni (características da encosta e do relevo pré-existentes, como inselbergs ou blocos exumados);
3. As condições gerais do clima e da localização;
4. As condições microclimáticas criadas pelo e no próprio tafone.

Neste sentido, fica evidenciado que os pesquisadores, integrando distintas hipóteses, vinculado na compreensão dos principais processos envolvidos na formação das cavidades do tipo tafone, apontam que estas feições têm sua gênese associada aos processos endógenos e exógenos. Este processo de formação pode ser explicado a partir do esquema apresentado a seguir (Figura 76).

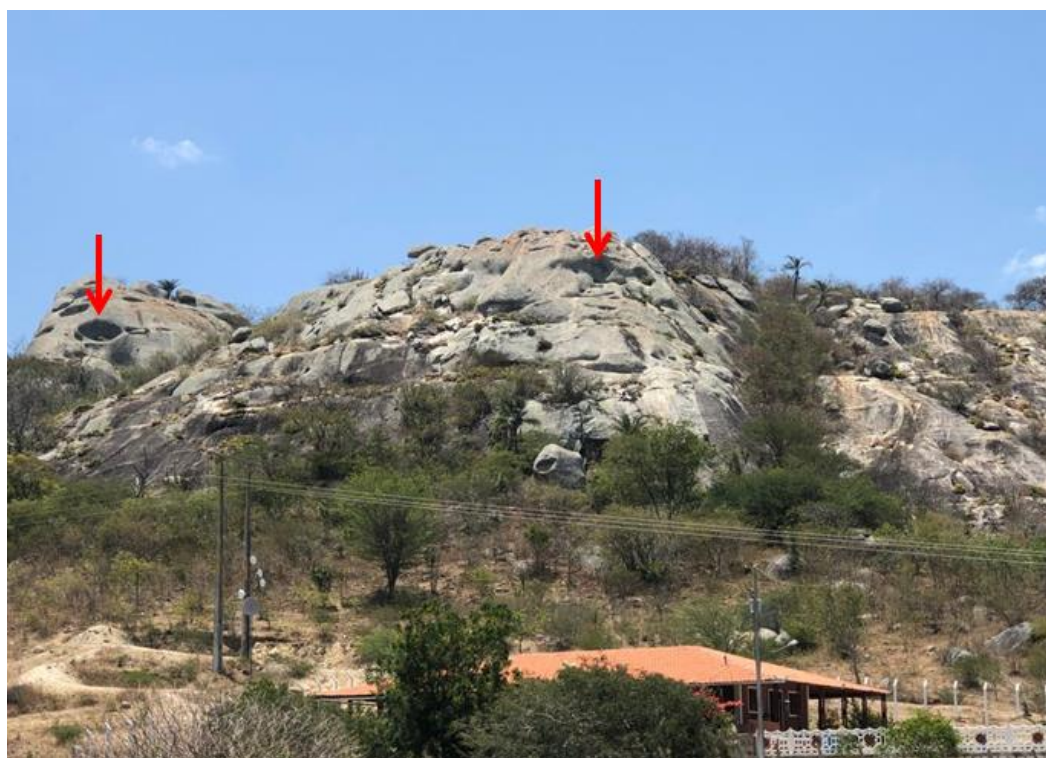
Figura 76: Esquema com a sequência evolutiva baseada no colapso de blocos e geração de tafoni.



Fonte: MAIA, 2015.

Em se tratando da ocorrência de tafones nas localidades investigadas, esta se justifica por se tratar de paisagens cuja sua fisiologia apresenta uma estrutura onde os aspectos geológicos, litológicos, geotectônicos estão atuando juntamente com os condicionantes climáticos, que favoreceriam o desenvolvimento de tafones (Figura 77) e demais formas identificadas.

Figura 77: Tafones em afloramento granítico em Brejo da Madre – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2019.

5.3.1.2.5 Caneluras

As caneluras são microformas de relevo com ocorrência muitas vezes associada aos batólitos graníticos que dão origem aos inselbergues com vertentes abruptas, comuns no semiárido do Nordeste do Brasil. Podemos definir Caneluras como sulcos verticais rasos de erosão química que possuem normalmente perfil côncavo e baixa sinuosidade. Podem ocorrer nas escarpas de inselbergues e na superfície de blocos graníticos (MAIA e NASCIMENTO, 2018).

Os autores destacam que quando ocorrem nas escarpas dos inselbergues, as caneluras organizam o sistema dispensor do escoamento originando focos de drenagem radial dentre os padrões majoritariamente dendríticos das depressões sertanejas. Por vezes acumulam em seu interior sedimentos e restos orgânicos permitindo assim o acesso da vegetação as escarpas e topo dos inselbergues. A presença de caneluras é bem expressiva em áreas de afloramentos graníticos.

As caneluras podem ser identificadas associadas a diferentes feições graníticas nas áreas investigadas. Estas feições se formam em superfícies de rochas inclinadas e verticais, apresentam variadas dimensões e aspectos, podendo ser encontradas em inselbergues e afloramentos, dividindo o espaço com tafonis e marmitas (Figura 78) nas localidades investigadas. Este tipo de associação entre diferentes microformas graníticas de meteorização é comum, como já preconizava Migón (2006), ao estudar paisagens graníticas espalhadas por todo mundo.

Maia et al. (2018), constataram que seu desenvolvimento pode estar relacionado com a variação faciológicas dos granitos, ou seja, nas fácies com predomínio de minerais máficos e textura porfiritica pode-se observar maior ocorrência de caneluras, enquanto que em granitos ricos em minerais félsico essas feições são menos presentes. As propriedades litológicas e mineralógicas descritas como elementos cruciais para a gênese destas feições é comum aos litotipos identificados nos ambientes investigados em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro, onde ocorrem ganitos porfiríticos com forte presença de minerais máficos, inclusive em forma de xenólitos.

Figura 78: Feições do tipo Caneluras em afloramentos graníticos no município de Brejo da Madre – PE.

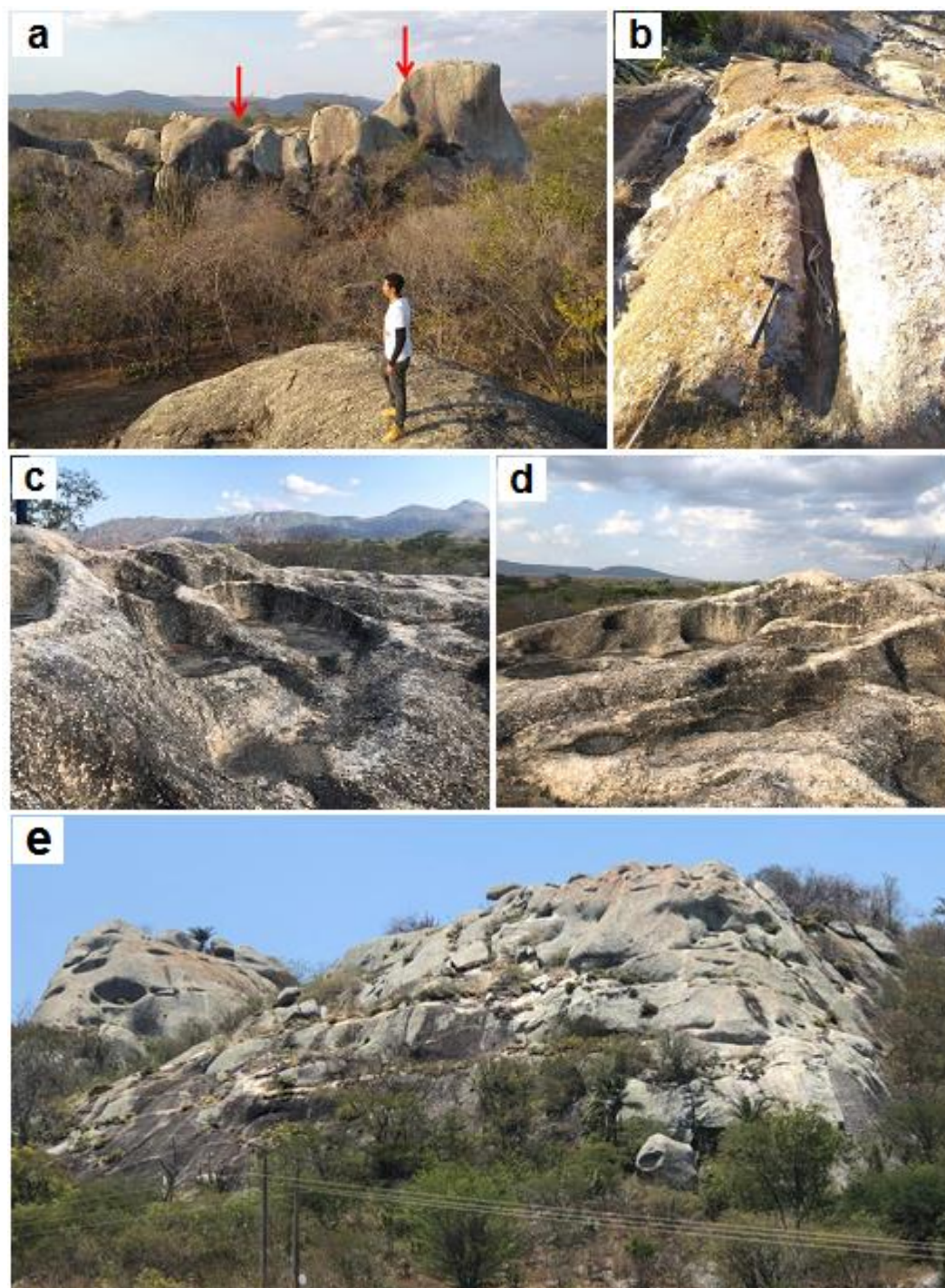


Figura: a) Caneluras associadas a tafonis em Brejo da Madre de Deus – PE; b) Caneluras em afloramento em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE; c) e d) Caneluras em afloramento no Parque das Esculturas, em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus; d) Caneluras em Inselbergue rochoso no Distrito de Quati, Brejo da Madre de Deus - PE. Fonte: Acervo do autor, 2019.

5.4 ANÁLISE PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS DO EMBASAMENTO

A partir de análises realizadas em campo e laboratório, com emprego de diversos métodos, foi possível identificar os principais aspectos litológicos dos afloramentos em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro. Os resultados alcançados, correlacionados com os padrões geoquímicos das amostras, colaborou para a identificação de propriedades das rochas e minerais que constituem o embasamento das localidades onde estão distribuídas as feições graníticas que compõem a fisionomia do relevo nas áreas de estudo, como as marmitas de dissolução.

Os resultados alcançados foram correlacionados com os padrões geoquímicos das amostras, o que colaborou para a identificação de propriedades petrológicas e mineralógicas determinantes para o desenvolvimento, evolução e ocorrência das marmitas em determinados locais do semiárido pernambucano, propriedades estas também identificadas em outras regiões do Nordeste brasileiro e do mundo.

5.4.1 Análise macroscópica - amostra 01, Brejo da Madre de Deus – PE

Com base na análise macroscópica da amostra 01, coletada em Brejo da Madre de Deus, foi possível identificar características típicas de uma rocha ígnea plutônica, com textura porfirítica, granulação majoritariamente grossa, dominada por megacrístais de feldspato potássico; mineral dominante na amostra, em termos percentuais. A amostra em questão foi coletada às margens da estrada (PE-145), no Distrito de Quati. O compartimento sobre o qual a marmita se estabeleceu trata-se de um pedimento, com declividade de cerca de 2% (Figura 79).

Foi possível identificar elementos e aspectos relevantes, que possibilitam fazer inferências acerca da gênese da rocha. Identificou-se elementos que levam ao entendimento da ocorrência de mistura de magma e/ou fusão parcial, a partir do contato entre a rocha de coloração clara (leucocrática) e rocha escura (melanocrática). Estes processos remetem ao contexto geológico regional, marcado por relações nítidas entre a rocha intrusiva e as encaixantes, comum nesta porção da Província Borborema, na Zona Transversal, onde perturbações relacionadas aos ciclos geotectônicos Desde o Brasiliano até o evento Pan-Africano deixaram suas marcas tanto em nível de macroescala quanto microscópico. Os processos de mistura de magmas são essenciais para a compreensão da evolução de rochas ígneas como processos de diferenciação magmática. A mistura dos materiais fundidos pode ser heterogênea (*mingling*), que permite reconhecer os membros misturados, na forma de enclaves de um fluido dentro do outro ou homogênea (*mixing*), quando os fundidos se

misturam em escala íntima de fusão, não sendo possível identificá-los (PERUGINI & POLI, 2012).

Figura 79: Ponto de coleta, AMOSTRA A01_BMD, em Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: O autor, 2022.

5.4.2 Análise microscópica da amostra 01, em Brejo da Madre de Deus – PE

Por meio da análise em microscópio petrográfico identificou-se a composição modal da amostra 01, que serviu de base para a confecção do diagrama QAPF (Streckeisen, 1976), onde constatou que ela corresponderia a uma rocha ígnea plutônica denominada Quartzosienito. Esta rocha é composta basicamente por K feldspato ou Feldspatos alcalinos ($\pm 60\%$), $\pm 10\%$ de Plagioclásio, $\pm 5\%$ de quartzo, como minerais essenciais. Além de forte presença de máficos como Anfibólios (hornblenda), $\pm 13\%$, e biotita cerca de 12% . No diagrama (Figura 80) identifica-se a posição do litotipo referente a amostra 01, coletado em Brejo na Madre de Deus, no Distrito de Quati, inserido na unidade denominada Granito Serra do Quati, de idade Neoproterozóica.

Figura 80: Diagrama QAPF da amostra 01, coletada no Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus – PE.

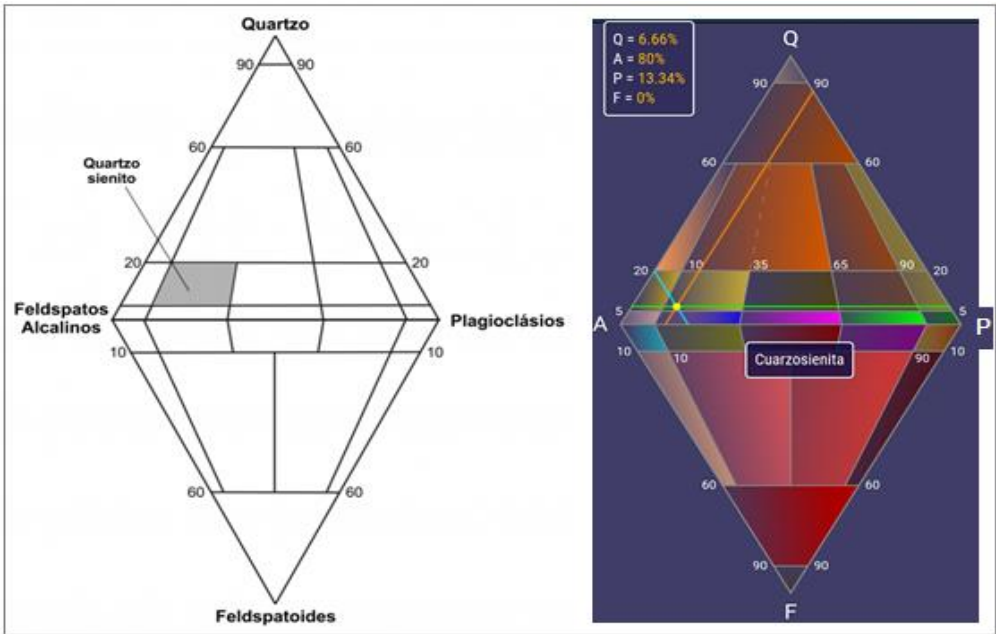


Diagrama QAPF, para classificar rochas Ígneas, com base em Streckeisen (1976), para a mostra 01 em Brejo da Madre de Deus. Fonte: o autor, 2022.

Em nível microscópico, a partir da análise de sessões delgadas da amostra, foi possível identificar diversas estruturas, tanto na massa rochosa, em sua totalidade, quanto a nível de minerais. A tabela 07 traz os percentuais dos minerais essenciais e acessórios que proedominam na amostra, por meio da análise modal estimada.

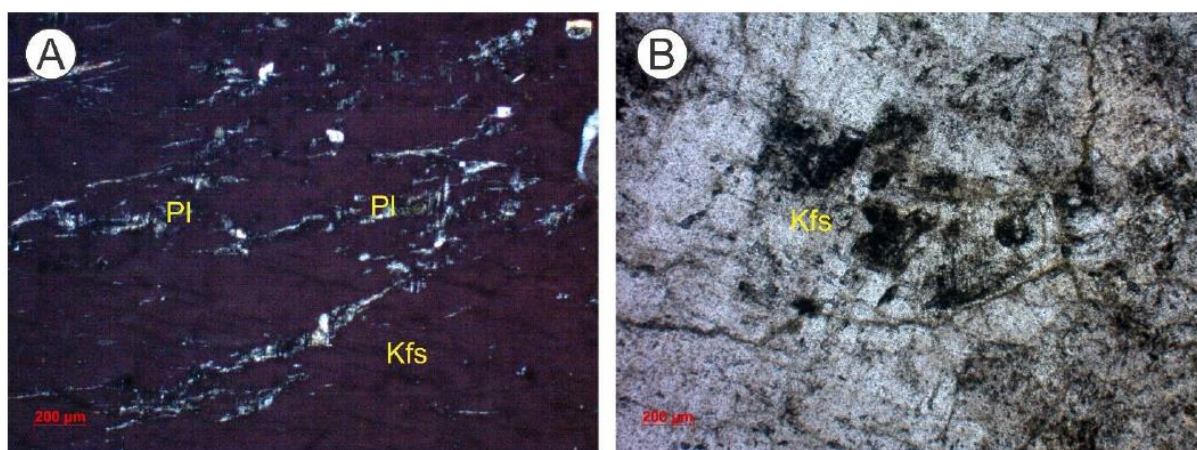
Tabela 07: Composição modal do quartzo-sienito, Amostra 01, Brejo da Madre de Deus - PE.

Mineral	%
Feldspato potássico	± 60
Plagioclásio	± 10
Quartzo	± 5
Anfibólio	± 13
Biotita	< 12
Titanita	< 1
Apatita	< 1
Epidoto	< 1
Allanita	< 1

Fonte: o autor, 2022.

- **Feldspato potássico (microclima)** – como já mencionado, este é o mineral predominante na amostra, o que faz com que ela tenha uma coloração mais clara (leucocrática), com um percentual próximo de 60%, se apresentando como megacristais anédricos (com a estrutura cristalina afetada por esforços tectônicos) e subédricos (quando a estrutura cristalina ou hábito cristalino comum está parcialmente preservado). Por meio da análise em lâmina foi possível identificar microestruturas do tipo: geminação do tipo xadrez, textura pertita chamais. Nos contatos entre os megacristais há ocorrência de recristalização, mirmequita, além de minerais de alteração decorrentes do processo de sericitização (81).

Figura 81: Fotomicrografia da lâmina petrográfica do Feldspato potássico, amostra 01_BMD, Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.



AMOSTRA A1BMD. (A) Lamelas exsolvidas de plagioclásio com geminação polissintética em megacristal de feldspato potássico – NC. (B) Megacristal de feldspato potássico intensamente alterado para argilominerais – NP. Fonte: O autor, 2022.

As lamelas identificadas na figura 81 (A) são típicas de rochas em que seus minerais essenciais passaram por algum tipo de deformação por meio das mudanças de condições de T e P, que possibilitaram que minerais secundários se formassem por meio do contato entre o magma e rocha hospedeira. Neste tipo de fenômeno os cristais se formam em lâminas ou em forma de “vermes” (hábito vermicular). Normalmente é um processo associado à queda de temperatura (em rochas ígneas ou mesmo em rochas metamórficas de alto grau), quando estas são submetidas a deslocamento vertical por meio de fluxo ascendente de magma por áreas que sofreram ruptura crustal por meio instabilidade litosférica proporcionadas por eventos geotectônicos, como os já mencionados em tópicos anteriores.

- **Plagioclásio** - cristais anédricos de granulação grossa (até 6 mm), incolor, de cor de interferência cinza de 1ª ordem e contatos irregulares com demais minerais félsicos. Apresenta geminação polissintética, por vezes, fraturada e deslocada devido à deformação rúptil ou levemente arqueada sugerindo aumento nas condições de temperatura e/ou pressão. Algumas fraturas estão parcialmente preenchidas por cristais de granulação fina, recristalizados. Inclusões de biotita podem ser observadas Foto C (Figura 82).

Figura 82: Fotomicrografia da lâmina petrográfica do plagioclásio, amostra 01_BMD, Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.



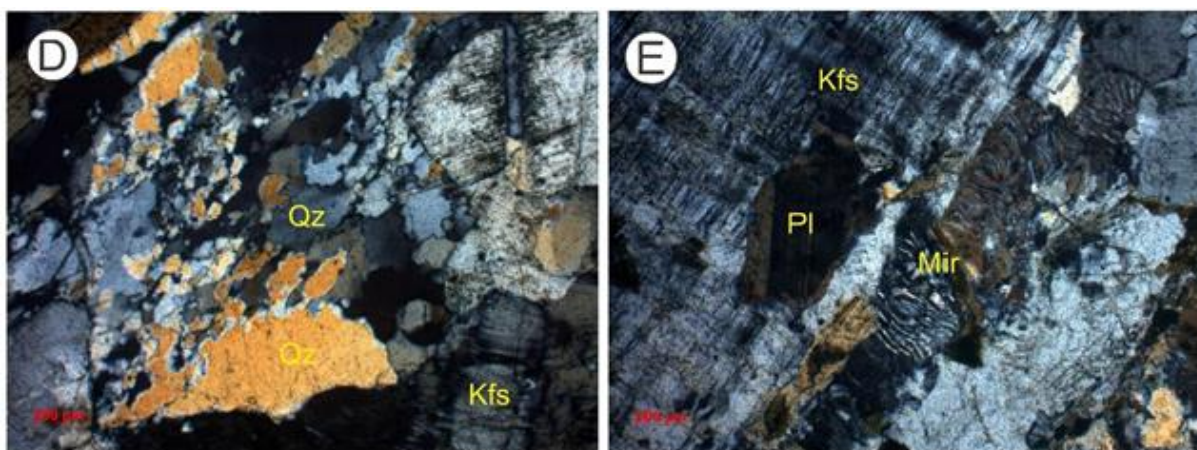
AMOSTRA A1BMD. (C) Plagioclásio fraturado e com deslocamentos na geminação polissintética – NC. Fonte: O autor, 2022.

Geminados deste tipo destacado acima são uma resposta dos cristais aos processos de deformação, por esforços tectônico, sem que ocorra a fusão do mineral e resultam de deslizamentos em pequena escala no retículo dos minerais em consequência da atuação de esforços mecânicos. Os geminados polissintéticos, que consistem nas sucessivas superfícies de composição paralelas, resultando em fileiras infinitas de lamelas de geminação também estão relacionadas ao tectonismo e/ou às mudanças das condições termodinâmicas, geralmente por diminuição lenta de temperatura, quando ocorre a emersão de magma das porções mais interiores da crosta em direção a superfície, ficando aprisionados abaixo do solo.

- **Quartzo** - incolor, com cor de interferência cinza claro a amarelo pálido de 1ª ordem. Ocorre como cristais anédricos de granulação grossa e extinção ondulante ou como

pequenos grãos neoformados por processos de recristalização. Estes grãos recristalizados são estirados e seguem uma orientação preferencial, sugerindo mecanismo de deformação por rotação de subgrão (Figura 83 D). Também pode ocorrer de forma vermicular em intercrescimento do tipo mirmequita (Figura 83 E) nos contatos entre feldspato potássico e plagioclásio.

Figura 83: Fotomicrografia da lâmina petrográfica do plagioclásio, amostra 01_BMD, Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.



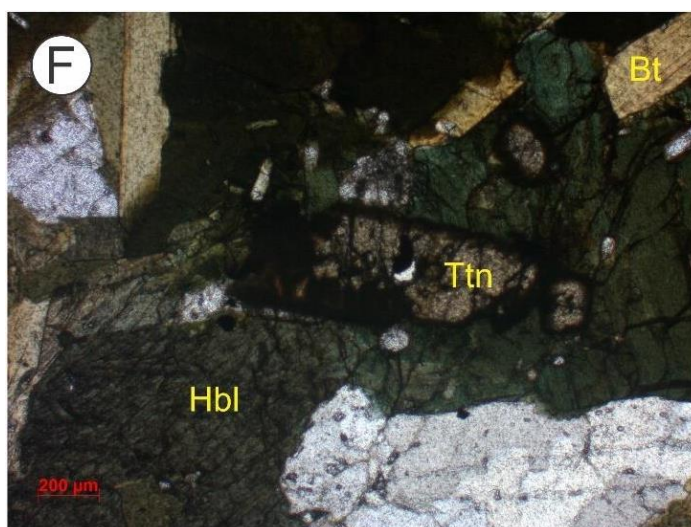
AMOSTRA A1BMD. (D) Cristais neoformados de quartzo recristalizado por rotação de subgrão – NC. (E) Intercrescimento do tipo mirmequita nas bordas de megacristais de feldspato potássico. Inclusão de plagioclásio (alterado) também pode ser observada – NC.. Fonte: O autor, 2022.

A Mirmequita é o termo usado para intercrescimento de quartzo vermicular em lóbulos de plagioclásio, normalmente no contato com feldspato potássico (os lóbulos normalmente invadem o feldspato potássico). Este tipo de intercrescimento é comum às rochas que sofreram processos metamórficos, mesmo que tenha sido de baixo grau, onde mesmo com as mudanças das condições termodinâmicas o corpo rochoso foi atingido de forma parcial, sendo expressos por meio das microestruturas descritas, como as mirmequita, geminações e neoformados.

- **Anfibólitos e Biotita** - estes são os minerais máficos mais importantes da amostra_01. Em se tratando do Anfibólio (hornblenda) foi possível observar que o mesmo ocorre em forma de cristais subédricos a euédricos, de granulação grossa, com pleocroísmo forte e cores de pleocroísmo entre verde lodo, verde azulado a amarelo esverdeado. Ocorre associado a biotita e outros minerais máficos, geralmente com contatos retos entre si. Seções com dois traços de clivagem com ângulos de 56° e 124° entre si podem ser observados. Alguns poucos cristais podem apresentar geminação simples.

A Biotita ocorre na amostra por meio de cristais euédricos a subédricos, de hábito lamelar e granulação grossa. Um traço de clivagem nas seções longitudinais com extinção reta e picotada são as características mais distintivas. Possui pleocroísmo forte, com cores entre marrom escuro e amarelo pálido. Ocorre geralmente associada à anfibólio e titanita, com contatos retos entre si. Inclusões de apatita e alteração para clorita também podem ser observadas (Figura 84 F).

Figura 84: Fotomicrografia da lâmina petrográfica com ênfase nos minerais máficos, amostra 01_BMD, Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus.



AMOSTRA A1BMD. (F) Principais minerais máficos da rocha. Presença de biotita, hornblenda em seções com dois traços de clivagem e titanita com borda de material opaco – NP. Bt – biotita; Hbl – hornblenda; Kfs – feldspato potássico; Mir – mirmequita; Pl – plagioclásio; Qz – quartzo; Ttn – titanita. NP – nicóis paralelos; NC – nicóis cruzados. Fonte: O autor, 2022.

5.4.3 Análise geoquímica da amostra 01, em Brejo da Madre de Deus - PE

Os dados decorrentes desta etapa estão sintetizados na tabela 08, onde serão discutidos e correlacionados com dados de outra natureza, para que assim seja possível perceber as variações de composição em termos absolutos e relativos, além de ser possível avaliar as características composicionais da amostra em termos qualitativos e quantitativos.

A partir das informações presentes na tabela identificou-se os seguintes elementos químicos: Rb, Si, Rh, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, Ba, Al, P, de forma isolada, como elemento nativo e/ou complexados, fazendo parte da composição de algum mineral. Sobre o aspecto da composição química da Amostra_01, é importante destacar a presença dos metais de transição, como o Rh, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Y, Zr, Nb e Ag, que apresentam características químicas que levam ao favorecimento de reações químicas

deste para com aqueles que façam parte do sistema, tais como aqueles presentes na amostra ou aqueles provenientes da água que a se precipitar sobre a superfície percola ou penetra os interstícios, poros e fraturas das rochas, liberando H^+ e OH^- ou compostos ácidos provenientes da reação da água com gases atmosféricos, a exemplo do CO_2 .

Tabela 08: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 01_BMD, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Rb, Si, Rh, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ag
Ba, Al, P

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	37.663 %	[0.611]	Quan-FP	SiKa	0.7307
Al	22.150 %	[1.125]	Quan-FP	AlKa	0.0446
Fe	19.507 %	[0.077]	Quan-FP	FeKa	145.4347
Ca	9.975 %	[0.065]	Quan-FP	CaKa	4.4745
K	4.882 %	[0.055]	Quan-FP	K Ka	1.3977
Ti	3.177 %	[0.051]	Quan-FP	TiKa	7.9052
P	1.102 %	[0.168]	Quan-FP	P Ka	0.0383
Mn	0.400 %	[0.016]	Quan-FP	MnKa	2.2769
Sr	0.398 %	[0.005]	Quan-FP	SrKa	11.0864
Zr	0.290 %	[0.004]	Quan-FP	ZrKa	9.4672
V	0.128 %	[0.023]	Quan-FP	V Ka	0.4591
Ag	0.113 %	[0.011]	Quan-FP	AgKa	1.4998
Cr	0.056 %	[0.013]	Quan-FP	CrKa	0.2675
Zn	0.049 %	[0.006]	Quan-FP	ZnKa	0.5505
Y	0.040 %	[0.004]	Quan-FP	Y Ka	1.1894
Cu	0.035 %	[0.007]	Quan-FP	CuKa	0.3275
Rb	0.020 %	[0.004]	Quan-FP	RbKa	0.5008
Nb	0.015 %	[0.003]	Quan-FP	NbKa	0.4973

Fonte: O autor, 2022.

Estes compostos metálicos, localizados na posição central da tabela periódica, entre outros aspectos, podem também realizar ligações iônicas, covalentes e metálicas, a depender da composição da rocha em questão. Outros aspectos importantes sobre estes metais residem no fato deles servirem como catalizadores para acelerar reações entre outras espécies químicas disponíveis no sistema. Vale ressaltar que as reações químicas relacionadas aos metais de transição em muito se devem ao fato deles apresentarem raio atômico grande.

Os raios grandes dos elementos de transição da tabela periódica (Figura 85) são condição elementar para que estes reajam com compostos que estejam em contato, dentro de uma matriz rochosa cristalina. Os elétrons localizados nos subníveis mais externos são atraídos pelos compostos que chegam ao sistema por meio de fissuras, fraturas e progressivamente vão desenvolvendo minerais in loco, a partir de reações que formam

diversos outros compostos. Esses produtos tanto podem ser evacuados pelas chuvas, ou permanecer no sistema com novos arranjos recristalizados ou incluso em outros minerais, o que muitas vezes pode representar a intrusão de magma na crosta superior, fenômenos comuns à Zona Transversal, como já citado.

Figura 85: Tabela periódica da distribuição dos elementos químicos.

Legenda:

- Zn Sólido** (verde)
- Hg Líquido** (laranja)
- Ne Gás** (azul)
- Gf Artificial** (roxo)
- Hidrogênio** (branco)
- Metais representativos alcalinos** (amarelo)
- Metais representativos alcalinos terrosos** (laranja)
- metais de transição** (verde)
- metais de transição interna** (roxo)
- Outros metais representativos** (laranja)
- Outros não metais** (verde)
- Não metais, halogênios** (verde)
- Gases nobres** (azul)

Diagrama da Tabela Periódica:

Grupo: **Nº ATÔMICO**, **Símbolo**, **Nome do elemento**

Período: 1 a 7

Elementos:

1: H (Hidrogênio)
 2: He (Hélio)
 3: Li (Lítio)
 4: Be (Berílio)
 5: B (Boro)
 6: C (Carbono)
 7: N (Nitrogênio)
 8: O (Oxigênio)
 9: F (Flúor)
 10: Ne (Neônio)
 11: Na (Sódio)
 12: Mg (Magnésio)
 13: Al (Alumínio)
 14: Si (Silício)
 15: P (Fósforo)
 16: S (Enxofre)
 17: Cl (Cloro)
 18: Ar (Argônio)
 19: K (Potássio)
 20: Ca (Cálcio)
 21: Sc (Escândio)
 22: Ti (Titânio)
 23: V (Vanádio)
 24: Cr (Cromo)
 25: Mn (Manganês)
 26: Fe (Ferro)
 27: Co (Cobalto)
 28: Ni (Níquel)
 29: Cu (Cobre)
 30: Zn (Zinco)
 31: Ga (Gálio)
 32: Ge (Germânio)
 33: As (Arsênio)
 34: Se (Selênio)
 35: Br (Bromo)
 36: Kr (Criptônio)
 37: Rb (Rubídio)
 38: Sr (Estrôncio)
 39: Y (Ítrio)
 40: Zr (Zircônio)
 41: Nb (Níbio)
 42: Mo (Molibdênio)
 43: Tc (Técnetio)
 44: Ru (Ródio)
 45: Rh (Ródio)
 46: Pd (Paládio)
 47: Ag (Prata)
 48: Cd (Cádmio)
 49: In (Índio)
 50: Sn (Estanho)
 51: Sb (Antimônio)
 52: Te (Telúrio)
 53: I (Iodo)
 54: Xe (Xenônio)
 55: Cs (Césio)
 56: Ba (Bário)
 57-71: Lantanídeos
 72: Hf (Háfio)
 73: Ta (Tântalo)
 74: W (Tungstênio)
 75: Re (Rênio)
 76: Os (Osmio)
 77: Ir (Írídio)
 78: Pt (Platina)
 79: Au (Ouro)
 80: Hg (Mercúrio)
 81: Tl (Talho)
 82: Pb (Chumbo)
 83: Bi (Bismuto)
 84: Po (Polônio)
 85: At (Ástato)
 86: Rn (Radônio)
 87: Fr (Francio)
 88: Ra (Rádio)
 89-103: Actinídeos
 104: Rf (Rfênio)
 105: Db (Dúrbio)
 106: Sg (Seabúrgio)
 107: Bh (Bório)
 108: Hs (Háscio)
 109: Mt (Meitnerio)
 110: Ds (Darmstadto)
 111: Rg (Roentgenio)
 112: Cn (Copernício)
 113: Nh (Nihônio)
 114: Fl (Fleróvio)
 115: Mc (Moscóvio)
 116: Lv (Livermório)
 117: Ts (Tenessio)
 118: Og (Oganessio)

Lantanídeos: 57: La (Lantânio), 58: Ce (Cério), 59: Pr (Praseodímio), 60: Nd (Neodímio), 61: Pm (Pmécio), 62: Sm (Samarítio), 63: Eu (Európio), 64: Gd (Gadolínio), 65: Tb (Térbio), 66: Dy (Disprósio), 67: Ho (Hólmio), 68: Er (Érbio), 69: Tm (Tulio), 70: Yb (Ítróbio), 71: Lu (Lutécio)

Actinídeos: 89: Ac (Actínio), 90: Th (Tório), 91: Pa (Protactínio), 92: U (Urânio), 93: Np (Neptúlio), 94: Pu (Plutônio), 95: Am (Americo), 96: Cm (Cúrio), 97: Bk (Bérgúlio), 98: Cf (Califórnia), 99: Es (Einsteinio), 100: Fm (Fermio), 101: Md (Mendelevio), 102: No (Nobelio), 103: Lr (Lawrêncio)

Fonte: <https://portaltobias.wordpress.com/2021/04/20/revisao-de-tabela-periodica/>. Acesso em julho de 2022.

Neste sentido, as reações condicionam a geração de neoformados, como os argilominerais, ou mesmo impulsionam a recristalização, quando a água percolante apresenta temperatura elevada. Essa pode estar relacionada às zonas geologicamente instáveis, principalmente ao longo do Neoproterozóico.

Nos feldspatos potássicos da amostra 01, foi destacado a ocorrência de sericitização, recristalização e alteração para argilominerais, de forma moderada, processos que só são possíveis de se desenvolver em virtude das características geoquímicas da rocha. Sobre a sericitização, é importante destacar ela se faz presente em ambientes onde há a penetração de fluidos hidrotermais, em decorrência de eventos magmáticos como os que afetaram a evolução geotectônica da Zona Transversal, na Província Borborema, onde o caráter de evolução policíclica predominou (BRITO NEVES et al., 1975; BRITO NEVES et al., 1995; VAUCHEZ et al., 1995).

A partir dos dados geoquímicos, observou-se uma forte presença de Si, Al e Fe em termos percentuais no total da amostra. Esses elementos químicos são abundantes na crosta terrestre, sobretudo nas porções mais superficiais, complexados à estrutura dos minerais primários ou mesmo na composição dos neoformados ou minerais secundários. Observa-se que a rocha em questão tem mais de 80% de silicatos em sua composição, expressos por meio dos Feldspatos potássico, Plagioclásio, Quartzito e Anfibólios; minerais essenciais, juntamente com a biotita.

5.4.4 Análise macroscópica - amostras 02 e 03, Brejo da Madre de Deus – PE

As amostras 02 e 03 foram coletadas em marmita localizada no Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus, às margens da PE-145 (Figura 86). O acesso à localidade onde localizam-se as microfeições foi possível por meio de uma via carrocável, seguindo para sentido norte a uma distância de cerca de 500 m da PE-145.

Figura 86: Pontos de coleta de rochas em afloramentos, nas margens da PE-145, no Distrito de Quati, Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Google Earth Pro, 2022.

A análise conjunta das amostras se deu pelo fato de ambas terem sido coletadas em um mesmo afloramento. Entretanto, é importante frisar que existem diferenças marcantes entre elas. Os pontos de coleta das amostras estão situados em uma área que sofreu intensos

processos magmáticos, desde o Proterozóico até o Cretáceo, onde se destacam bolsões de intrusões, com deformações em regime dúctil e rúptil, identificadas *in situ*, por meio de elementos e estruturas em nível de afloramento que marcam o contato entre magmas distintos, com estruturas tridimensionais deformadas, em muitos casos, visíveis a olho nu (FOSSEN, 2017; NEVES, 2012).

O contato do magma ou mistura (Figura 87), muitas vezes proporciona a fusão parcial da rocha encaixante, devido ao aumento da temperatura gerado no processo. A mistura é possível, em muitos casos, pela migração vertical de magma de porções mais profundas da crosta, elementos e processos que serão discutidos mais afundo na análise microscópicas em lâminas, onde trataremos de temas tais como recristalização, formação de subgrão, migração de borda do grão, entre outros.

Figura 87: Amostra 02, em nível de afloramento, em marmita no município de Brejo da Madre de Deus – PE.

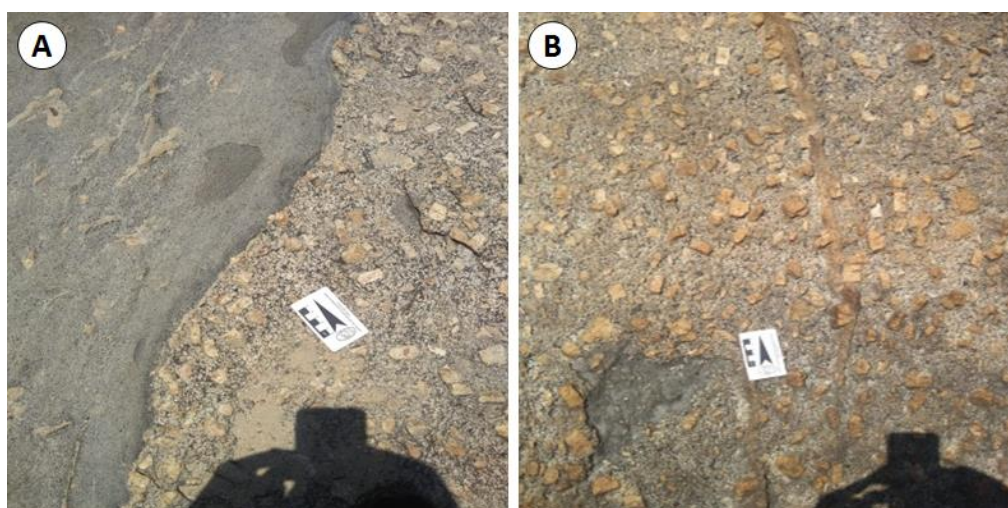


Figura: (a) contato de magma – a direita rocha com textura fanerítica, média a grossa, com fenocristas de feldspato potássico com até 6 mm e a esquerda com rocha com coloração escura (melanocrática); (b) aspecto da textura da amostra 02, mostrando sua textura fanerítica. Fonte: O autor, 2022.

A amostra 02 pode ser classificada como uma rocha ígnea denominada álcali-feldspato granito. O destaque dado na nomenclatura da rocha ao feldspato alcalino se deve ao fato deste mineral ser abundante na rocha, com um percentual superior a 50% (tabela 09).

Tabela 09: Composição modal do álcali-feldspato granito, Amostra 02, Brejo da Madre de Deus.

Minerais	%
Plagioclásio	± 5
Feldspato potássico	± 52
Quartzo	± 25
Biotita	± 5
Apatita	< 1
Zircão	< 1
Opacos	± 0,5
Clorita	± 0,5
Muscovita	± 12

Fonte: o autor, 2022.

Sobre as características gerais da rocha em nível de afloramento e a partir de amostra de mão (Figura 88), essa foi definida como ígnea de textura fanerítica inequigranular seriada, com granulação variando de média a grossa. A rocha não apresenta orientação preferencial dos minerais (foliação e lineação), elementos em muitos casos relacionados a processos metamórficos.

Figura 88: Amostra 02, destacando os aspectos da textura da rocha granítica e sua textuta.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

A amostra de rocha 03 (Figura 89) apresenta uma coloração melanocrática, com textura afanítica, ou seja, seus constituintes minerais não podem ser discerníveis a olho nu. A coloração escura da rocha e sua textura são suportes imprescindíveis para compreensão da gênese, visto que a cor escura remete à forte presença de minerais máficos, e sua textura afanítica traz a luz entendimento sobre o caráter eruptivo da rocha, já que o magma responsável pela sua geração emergiu para as camadas mais superficiais da crosta, o que levou ao seu rápido resfriamento, e impediu o crescimento dos cristais.

Figura 89: Amostra 03 mostrando o contato entre magmas distintos, destacando a cor escura da amostra.

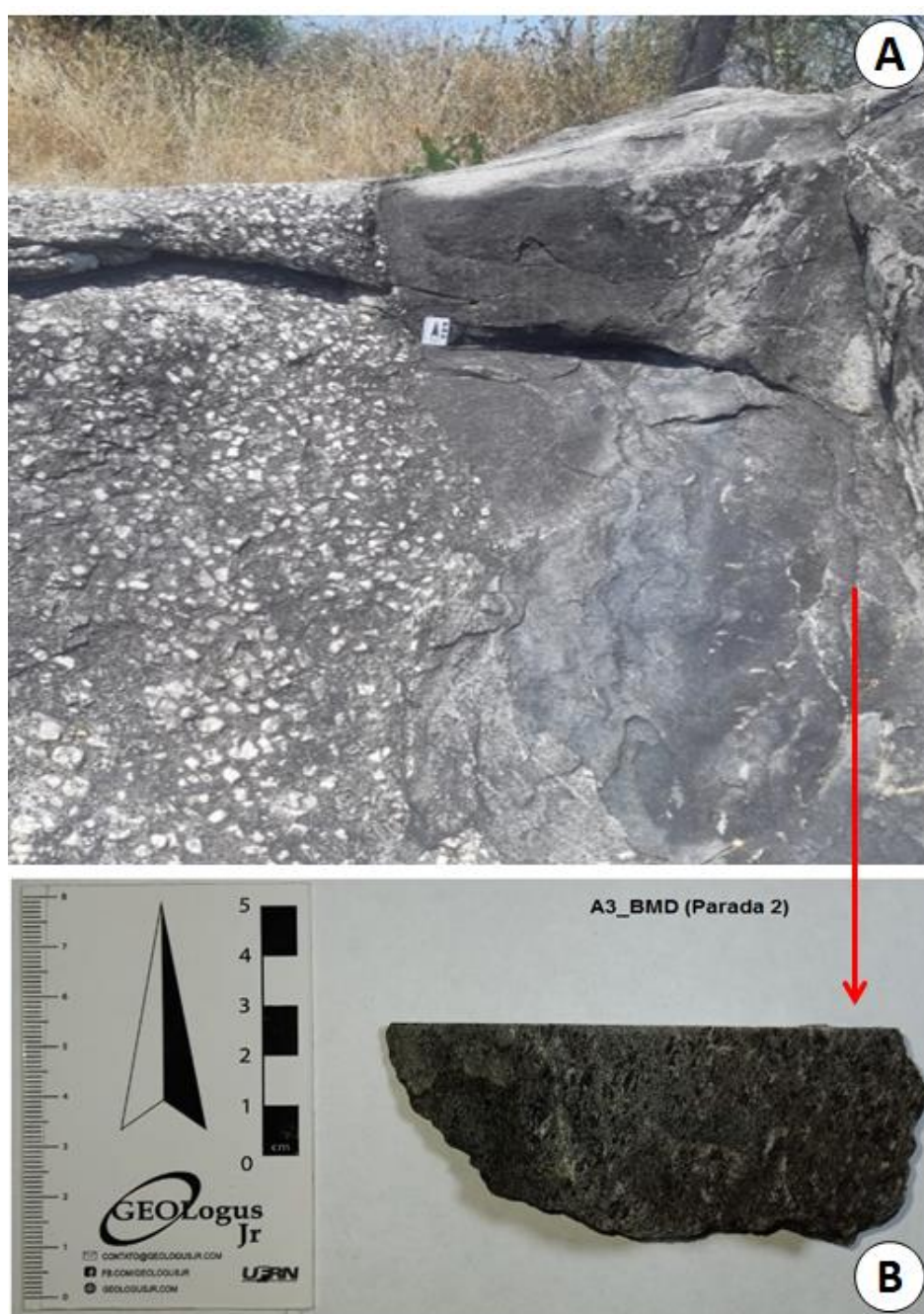


Figura: (a) Contato de magmas, onde é possível observar uma textura porfirítica do lado esquerdo da amostra, com cristais de feldspatos em destaque na massa rochosa e do lado esquerdo a rocha com textura afanítica, evidenciando seu caráter eruptivo, o que impossibilita o crescimento dos cristais; (b) amostra de mão da rocha. Fonte: O autor, 2022.

Ainda em se tratando da textura da amostra, podemos definí-la como micro ou criptocristalina, já que seus componentes minerais não podem ser reconhecidos macroscopicamente. O uso do termo afanítica é aplicável, fundamentalmente, a rochas ígneas, micro ou criptocristalinas, como às de borda resfriada de plúton e vulcânicas.

Outro aspecto que merece destaque na análise macroscópica da amostra 03 tem relação com a mistura de magma, já destacada na amostra 02 (Figura 88). Na Figura 90 nota-se que a rocha do lado esquerdo apresenta uma textura mais grossa, com megacristais de feldspato visíveis a olho nu, o que pode ser entendida como textura porfirítica, bem diferente do que pode ser observado na amostra 03, do lado direito. Os magmas envolvidos numa mistura podem ser derivados de diferentes fontes. Em geral os magmas basálticos, como parece indicar a rocha são típicos do manto superior ou de uma crosta inferior básica, enquanto magmas silicáticos podem vir de fusão parcial de diferentes níveis da crosta continental (PERUGINI & POLI, 2012).

Ainda no que tange a mistura de magma, esta pode ocorrer em qualquer ambiente geológico, a partir de câmaras magmáticas, condutos vulcânicos e produzir várias evidências, como: estruturas de fluxo e enclaves microgranulares máficos, félsicos ou intermediários, exclusivos de processos de mistura de magmas. Estas estruturas podem ser facilmente distinguidas no afloramento, devido a alternância de bandas de cores claras e escuras, tais como visto nas amostras em destaque. O processo de mistura, naturalmente são comuns aos ambientes vulcânicos e são menos abundantes em rochas plutônicas (DIDIER e BARBARIN, 1991).

5.4.5 Análise microscópica - amostra 02 e 03, Brejo da Madre de Deus – PE

A análise microscópica da amostra 02 resultou na construção do diagrama QAPF, a partir dos dados da composição modal (Figura 90). Com bases neste aspecto, a rocha foi classificada como granito com feldspato alcalino (álcali-feldspato granito), de cor clara ou félsica. Este tipo de granito também é conhecido como granito vermelho e geralmente apresenta uma textura grossa, como já destacado anteriormente.

Figura 90: Diagrama QAPF da amostra 02, coletada no Distrito de Quati, em Brejo da Madre de Deus – PE.

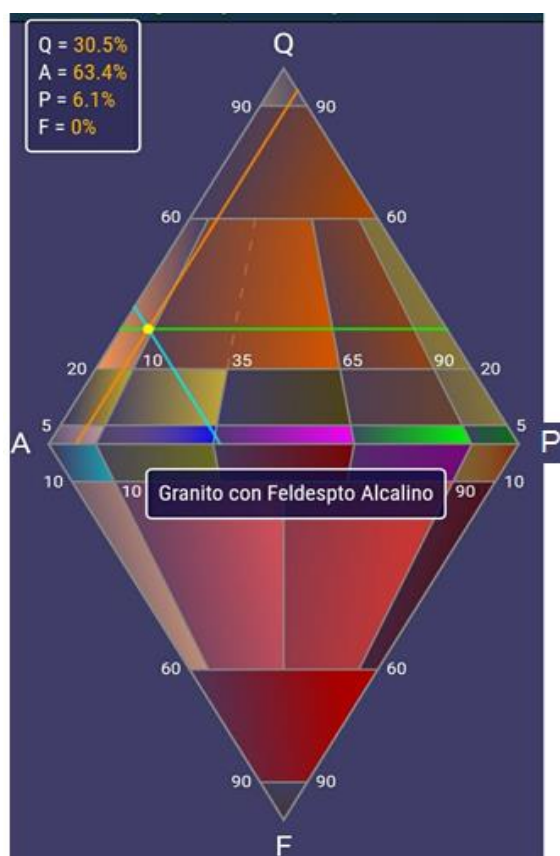


Figura: Diagrama QAPF, para classificar rochas Ígneas, com base em Streckeisen (1976), para a mostra 02 em Brejo da Madre de Deus. Fonte: O autor, 2022.

A amostra 02 apresenta leve deformação, que se apresenta por meio pertitas em chamás no feldspato potássico, extinção ondulante em quartzo e mirmequitas encontradas nas bordas de cristais de feldspato. A mineralogia principal é dada por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Biotita é o principal mineral máfico presente e ocorre de forma escassa. Minerais opacos, apatita e zircão formam a mineralogia acessória. A rocha apresenta ainda sinais de alteração, retratada a partir da alteração de feldspato em muscovita, em decorrência do processo de sericitização, argilominerais e clorita, que se formou a partir da transformação da biotita. A clorita faz parte da composição de rochas ígneas associada à alteração de minerais máficos como anfibólios, piroxênios, biotita, estauroлита, cordierita, granada e cloritóide, especificamente em rochas vulcânicas alteradas em cavidades e fraturas. Em geral os processos que levam a formação deste mineral de alteração são relacionados à

ação hidrotermal, o que sugere que essas rochas são produtos de fontes térmicas vulcânicas e intrusões crustais posteriores (CRUZ, 2015).

Ainda em nível de microescala temos uma rocha holocristalina, ou seja, constituída basicamente por cristais (mais de 90%), inequigranular, com granulação de média a grossa, onde os cristais apresentam dimensão entre 0,25 a 6 mm. Nos tópicos subsequentes, serão apresentadas informações acerca dos minerais essenciais da amostra e as microestruturas associados a cada um deles.

- **Plagioclásio:** cristais preferencialmente subédricos que comumente apresentam bordas arredondadas. Os cristais mostram geminação polissintética (lei da albita), são comumente grossos (até 4 mm) e apresentam contatos serrilhados. Alguns cristais mostram leve curvatura das geminações e fraturamento (sem preenchimento da fratura). Alteração para muscovita (sericitização) e argilominerais são frequentes e em alguns casos chegam a se distribuir por toda a extensão do cristal (Figura 91).
- **Feldspato potássico:** apresentam geminação simples (carlsbad) ou cruzada (xadrez) e exsolução do tipo pertita é frequente (Figura 91 - Foto B). Os cristais são subédricos a anédricos, possuem contatos irregulares e alguns chegam a 6 mm de comprimento. Frequentemente ocorrem de forma intersticial. Podem apresentar inclusões de biotita, quartzo, apatita e opacos, caracterizando uma textura poiquilítica. Pertitas em chamás também ocorrem e marcam a atuação da deformação mecânica na rocha. Observa-se a alteração para argilominerais (Figura 91 – Foto C), que chega a afetar praticamente todo o cristal.
- **Quartzo:** os cristais de quartzo ocorrem de forma variada, formando desde cristais relativamente grandes (~1 mm) e ligeiramente alongados a cristais intersticiais e/ou cristais pequenos (subarredondados) inclusos em feldspato potássico. Os contatos entre grãos variam de serrilhados a levemente lobados. Extinção ondulante é bem-marcada principalmente nos cristais de maior granulação (Figura 91 - Foto D).
- **Biotita:** principal mineral máfico, ocorre como lamelas subédricas que podem chegar a 1 mm. Dois tipos de biotita foram observados: uma de coloração castanha e outra de coloração avermelhada (possivelmente rica em titânio), Figura 91 (E). Os cristais de biotita podem apresentar inclusões de zircão, apatita e opacos. Biotita também pode ocorrer inclusa em cristais de feldspato. Alteração para clorita pode ser observada.

- **Muscovita:** ocorre como produto de alteração de feldspatos (sericitização) e estão associados a argilominerais. Por vezes a associação de muscovita e argilominerais pode afetar praticamente todo o cristal de feldspato.

Figura 91: Fotomicrograma da amostra 02, Brejo da Madre de Deus – PE.

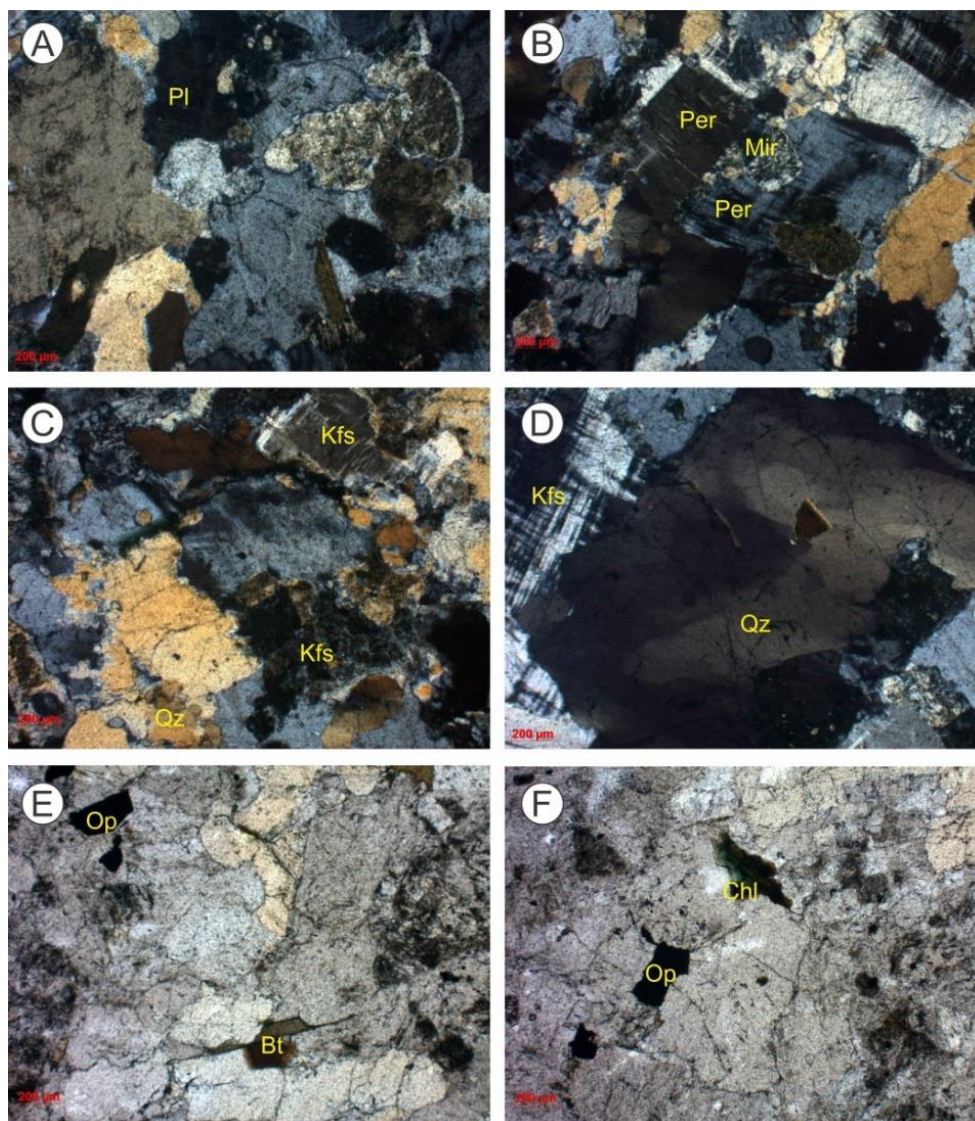


Figura: Fotomicrografia da AMOSTRA A2BDM. (A) Plagioclásio alterando para argilominerais – NC. (B) Presença de feldspato potássico peritico com textura de pertitas em chamas, mirmequitas também podem ser observadas – NC. (C) Feldspato potássico ocorrendo de forma intersticial, alguns cristais de feldspato também mostram alteração para argilominerais, recristalização incipiente de quartzo pode ser observada – NC. (D) Cristal grande de quartzo mostrando extinção ondulante e inclusão de biotita – NC. (E) Presença de dois tipos de biotita, um de coloração castanha e outro de coloração avermelhada, grandes cristais de minerais opacos estão presentes – NP. (F) Biotita alterando para clorita – NP. Bt – biotita; Chl – clorita; Kfs – feldspato potássico; Mir – mirmequita; Op – minerais opacos; Per – pertita; Pl – plagioclásio; Qz – quartzo. NP – nicóis paralelos; NC – nicóis cruzados.

Em se tratando da análise microscópica da amostra 03, foi possível verificar a existência de aspectos similares e distintos quando comparada a amostra 02. Em termos de composição mineral foi identificada a presença de feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio,

anfíbólio (hornblenda), botita, muscovita, epidoto, titanita, apatita e clorita. Neste sentido, é importante destacar a fase máfica da amostra que é bem mais acentuada, o que é bem perceptível ao analisar a fotomicrografia (Figura 92).

Figura 92: Fotomicrografia amostra 03, Brejo da Madre de Deus – PE.

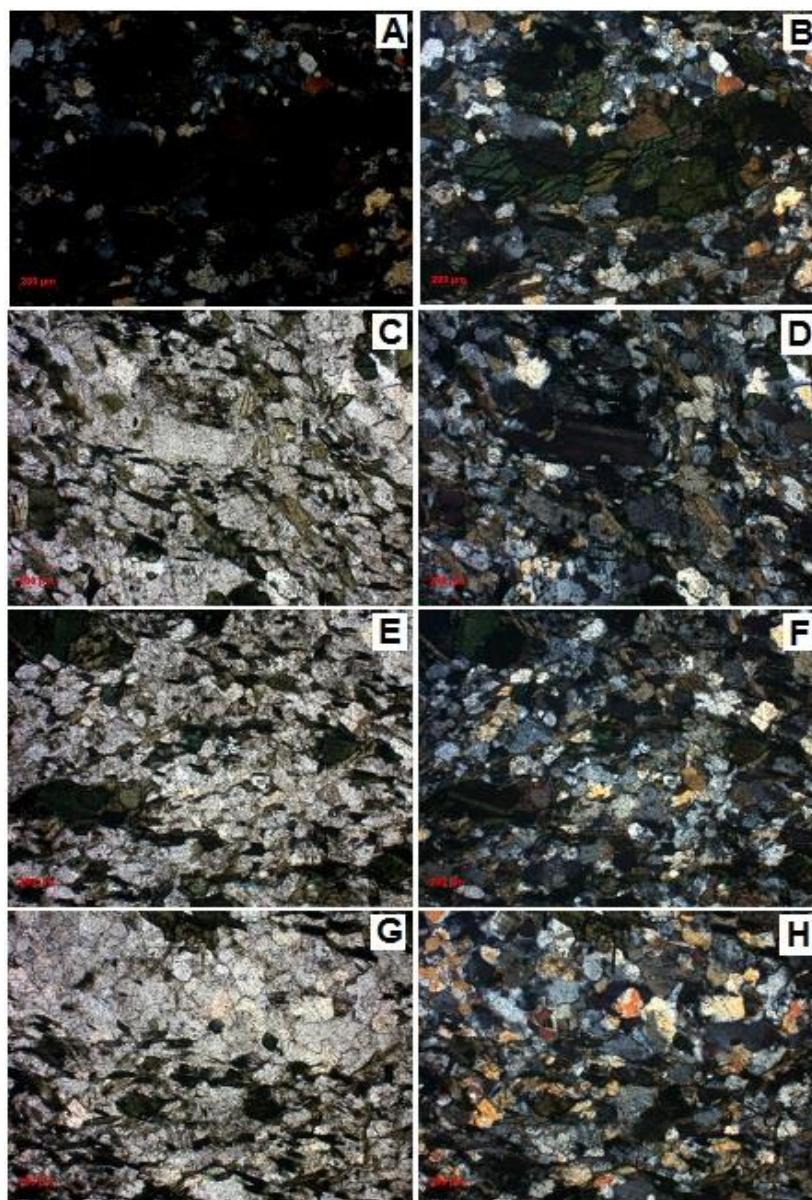


Figura: Fotomicrografia - (a) e (b) textura inequigranular, com grande quantidade de minerais recristalizados a partir de processos de deformação hidrotermal; (c) e (d) cristais anédricos, com formas geométricas irregulares, fruto de deformações em microescala e ocorrência de lamelas; (e) e (f) inclusões de minerais opacos na matriz; (g) e (h) ocorrência de minerais máficos com ligeira orientação na parte de baixo da sessão visualizada em lâmina petrográfica. Fonte: O autor, 2022.

Por meio do estudo da seção delgada desta amostra foi possível verificar que a rocha pode ser classificada como holocristalina, com textura inequigranular e microcristalina, na qual os cristais só podem ser identificados ao microscópio petrográfico. Nota-se ainda a existência de microestruturas relacionadas ao processo de recristalização, migração da borda

de grãos, e formações de argilominerais, muitas vezes expressas pela presença de minerais como a muscovita e clorita.

5.4.6 Análise geoquímica das amostras 02 e 03, em Brejo da Madre de Deus – PE

Em se tratando do contexto geoquímico da amostra 02 (tabela 10), observa-se uma forte presença de Si, aparecendo como principal elemento químico, com percentual de 57,5% em termos quantitativos. Todavia, vale ressaltar também a participação do Al (19,5%) e K (15,1%), além do Ca e Fe, que aparecem com percentuais 3,2% e 2,5% respectivamente.

Tabela 10: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 02_BMD, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Si, Rh, K, Ca, Ba, Ti, Mn, Fe, Rb, Sr, Ag, Al, P

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	57.548 %	[0.476]	Quan-FP	SiKa	1.3047
Al	19.523 %	[0.533]	Quan-FP	AlKa	0.0516
K	15.184 %	[0.074]	Quan-FP	K Ka	3.7063
Ca	3.276 %	[0.025]	Quan-FP	CaKa	1.1107
Fe	2.555 %	[0.025]	Quan-FP	FeKa	19.5573
Ba	0.785 %	[0.089]	Quan-FP	BaLa	0.5470
Sr	0.417 %	[0.004]	Quan-FP	SrKa	17.7918
P	0.318 %	[0.085]	Quan-FP	P Ka	0.0096
Ti	0.243 %	[0.030]	Quan-FP	TiKa	0.5098
Ag	0.060 %	[0.007]	Quan-FP	AgKa	1.2519
Rb	0.046 %	[0.003]	Quan-FP	RbKa	1.7567
Mn	0.045 %	[0.009]	Quan-FP	MnKa	0.2512

Fonte: O autor, 2022.

A análise geoquímica apontou para a bundância de elementos como Al, K, Ca e Fe que favorecem a decomposição da rocha, por meio do intemperismo, já que a água meteórica pode alterar os minerais que contenham este elementos, em especial os máficos, que tendem a ser mais suscptíveis ao intemperismo químico. Os processos mais comuns associado à alteração dos minerais constituintes da amostra são aqueles ligados à hidratação, que afeta, por exemplo a biotita; e a oxidação, associada às ligações feitas pelo Al e Fe, que são responsáveis pela formação de argilominerais.

No que diz respeito à geoquímica da amostra 03 (tabela 11), constata-se predomínio dos seguintes elementos químicos: Si (39%), Al (22,9%), Fe (17,1%), Ca (10,6) e K (6,8%). A maior participação na amostra destes elementos é crucial para o entendimento sobre a relativa facilidade com que esta rocha pode vir a ser alterada, visto que este fato se expressa na composição mineral, onde a fase máfica se destaca. Os minerais máficos são mais facilmente alterados, dando origem a vários outros minerais, que serão lixiviados gradativamente da rocha.

Tabela 11: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 03_BMD, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Rb, Si, Rh, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Zn, Sr, Y, Zr, Al, P

Quantitative Result

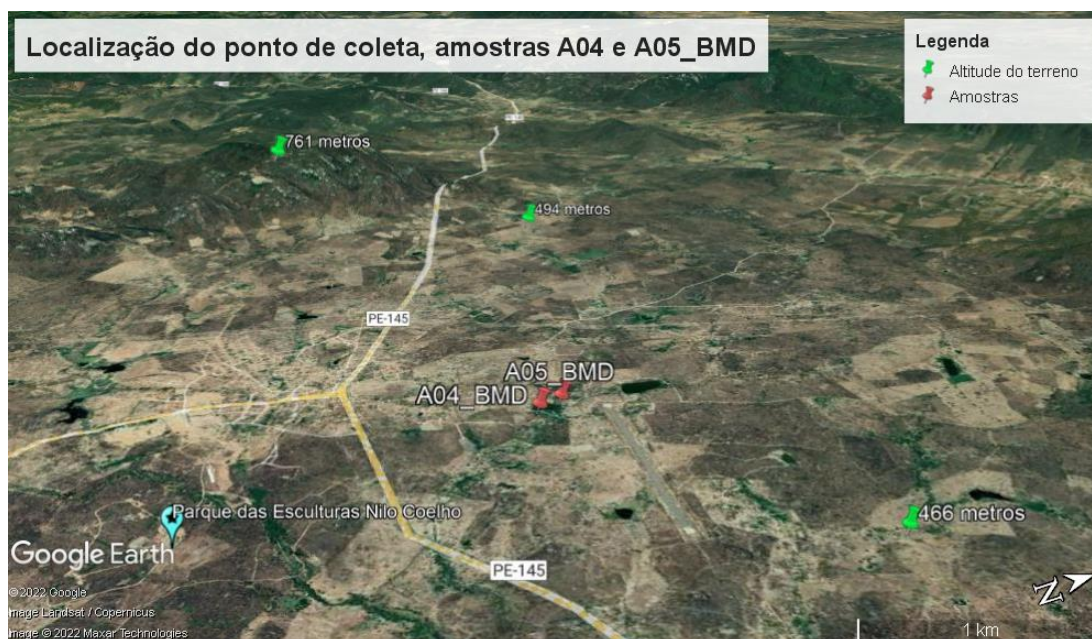
Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	39.003 %	[0.592]	Quan-FP	SiKa	0.7859
Al	22.916 %	[1.068]	Quan-FP	AlKa	0.0493
Fe	17.146 %	[0.071]	Quan-FP	FeKa	131.6588
Ca	10.687 %	[0.065]	Quan-FP	CaKa	4.7280
K	6.878 %	[0.063]	Quan-FP	K Ka	2.0083
Ti	1.973 %	[0.038]	Quan-FP	TiKa	4.8205
Sr	0.399 %	[0.005]	Quan-FP	SrKa	12.0120
P	0.373 %	[0.138]	Quan-FP	P Ka	0.0132
Mn	0.286 %	[0.014]	Quan-FP	MnKa	1.6689
Zr	0.127 %	[0.004]	Quan-FP	ZrKa	4.4762
V	0.095 %	[0.019]	Quan-FP	V Ka	0.3348
Cr	0.056 %	[0.012]	Quan-FP	CrKa	0.2703
Zn	0.037 %	[0.005]	Quan-FP	ZnKa	0.4510
Y	0.014 %	[0.003]	Quan-FP	Y Ka	0.4445
Rb	0.010 %	[0.004]	Quan-FP	RbKa	0.2690

Fonte: O autor, 2022.

5.4.7 Análise macroscópica - amostras 04 e 05, Brejo da Madre de Deus – PE

No que diz respeito às amostras de afloramento A04 e A05, é importante destacar que elas estão associadas a uma área de pediplanação, com pedimentos imbutidos, e áreas próximas a canais efêmeros com cotas alimétricas que não chegam a 500. Ao norte e nordeste da área de coleta é possível identificar áreas com topografia elevada, com altitudes de podem chegar a 800 metros (Figura 93). Este contexto relacionado à configuração do relevo, nas áreas de ocorrências das marmitas em Brejo da Madre de Deus já haviam sido discutidos por vários autores, tais como Silva et al (2006), Silva (2007), Silva (2013) e Albuquerque (2020).

Figura 93: Pontos de coletas das amostras A04 e A05, próximo a rodovia PE-145, em Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Google Earth Pro, 2022.

Em geral estas áreas elevadas estão relacionadas às cristas e cimeiras estruturais e serras, que passaram por vários ciclos erosivos, e formaram rupturas na paisagem geomorfológica, podendo ser associadas a unidades escalonares distintas, tal como preconizam propostas de classificação de vários pesquisadores (KING, 1956; ABSABER E ANDRADE, 1964; CORREA et al., 2010; MAIA e BEZERRA, 2014; BIGARELLA et al., 2016).

Em termos de características macroscópicas as amostras 04 e 05 foram definidas como granito, com textura porfirítica e coloração mesocrática ou intermediária entre escura e clara. A rocha apresenta megacristais de feldspato potássico, além de plagiocáσιο e quartzo, representando a fase félsica. Os minerais máficos tais como anfibólio, biotita, titanita, apatita e zircão também merecem destaque.

Ainda sobre a petrografia em nível de afloramento, Silva (2013) destaca a textura grossa a porfirítica da rocha, onde os cristais de feldspato potássico atingem até 8 cm de comprimento. Estes fenocristais de feldspato potássico, semelhantes aos aspectos texturais de granitos encaixantes, sugerem mistura entre magmas félsicos e magmas máficos (Figura 94).

A mistura de magmas é uma das estruturas que pode ser observada em afloramentos, onde é possível identificar duas matrizes rochosas distintas. Sobre este ponto a ênfase recai sobre aspectos relacionados à cor das litologias e sua textura (Figura 94). Do lado esquerdo temos o granito porfirítico mesocrático, e à esquerda uma rocha de granulação média, textura fanerítica e leucocrática, denotando processos de mistura entre magmas distintos, comum às áreas investigadas no município de Brejo da Madre de Deus.

Estes granitos apresentam boa resistência ao intemperismo e correspondem às rochas integrantes do Batólito Caruaru-Arcoverde, com maior associação cálcio-alcalino da Província da Borborema na sua porção leste, sendo sua borda meridional marcada pela Zona de Cisalhamento Pernambuco. A fácies grossa a porfirítica, identificada na amostra 04, é predominante na área e ocupa cerca de 85% da área total do batólito Brejo da Madre de Deus

Figura 94: Local de coleta da amostra 04, granito porfirítico não alterado em marmita de dissolução em Brejo da Madre de Deus.

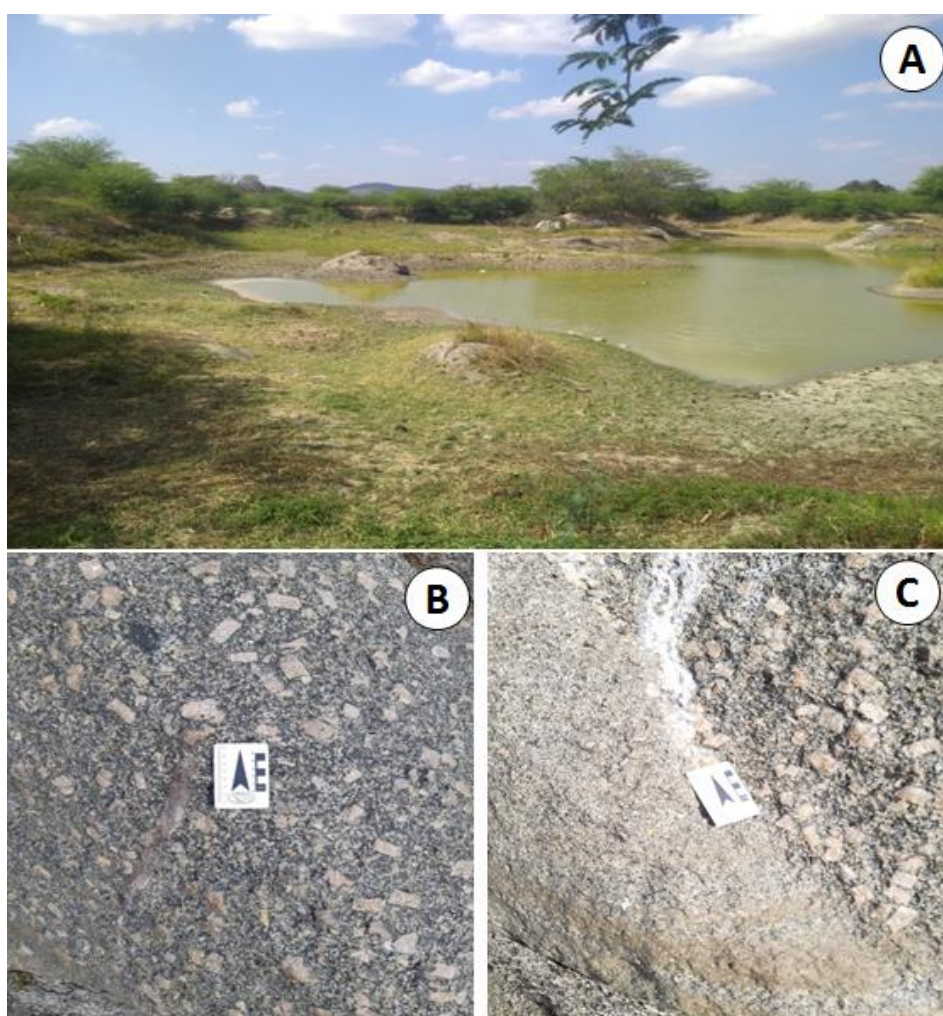
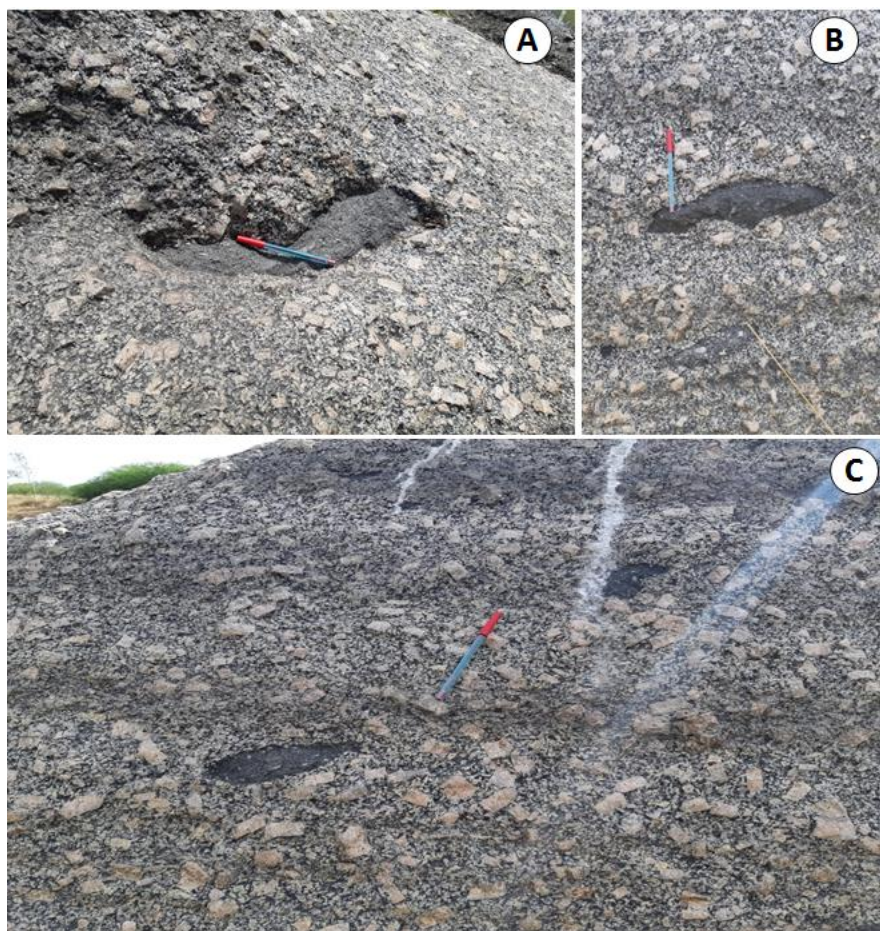


Figura 94: Textura da rocha em afloramento – (a) textura porfirítica com cristais de feldspatos potássicos e em evidência na trama magmática; (b) Contato entre magmas distintos., enfatizando ao lado esquerdo rocha fílsica

fanerítica com granulação média e do lado esquerdo a rocha porfirítica, com textura mais grossa e fenocristais.
Fonte: Acervo do autor, 2020.

Outro tipo de estrutura observada na amostra 04 são os xenólitos ou enclaves máficos (Figura 95). Estas estruturas são muito importantes para o entendimento da gênese das marmitas de dissolução, visto que estes minerais quando imersos em matriz porfirítica sofrem desgaste mais rápido do que os demais minerais que constituem a rocha. Sobre o tema, Maia e Nascimento (2018) afirmam que a presença de enclaves não constitui um pré-requisito para a formação de marmitas, mas são um facilitador geomorfológico para sua formação, a tal ponto que em muitos casos a morfologia que as marmitas assumem, como elipsoidais, por exemplo, mantém as características geométricas originais dos enclaves que a geraram.

Figura 95: Xenólito ou enclaves máficos na rocha intrusiva, amostra 04 (granito não alterado), em Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2020.

As características macroscópicas da amostra 05 são as mesmas verificadas na amostra anterior, por se tratar de mesmo material litológico. Entretanto, a diferença entre elas reside

no fato desta se tratar de porção da rocha em estágio avançado de alteração por meio do intemperismo (Figura 96). Neste sentido foram identificados dois processos principais: intemperismo esferoidal por alívio de pressão e/ou pela dilatação e contração do corpo rochoso em decorrência das oscilações de temperatura, retratando a forte amplitude térmica comum ao semiárido da região Nordeste, o que causa estresse da rocha e sua consequente destruição mecânica (imagem A); e intemperismo químico a partir da ação da água, como pode ser observado nas imagens B, C e D (Figura 96).

Figura 96: Amostra 05, granito porfirítico alterado, com ênfase no contato entre a fase alterada e não alterada, em marmita de dissolução em Brejo da Madre de Deus - PE.

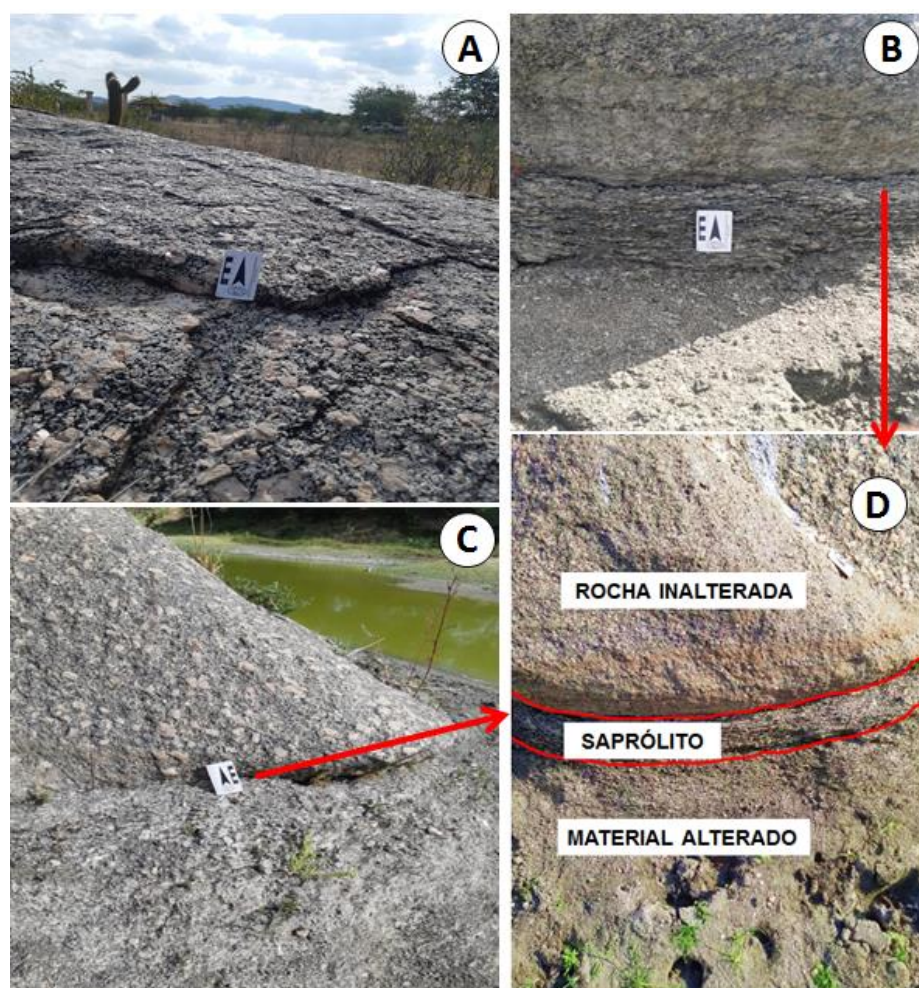


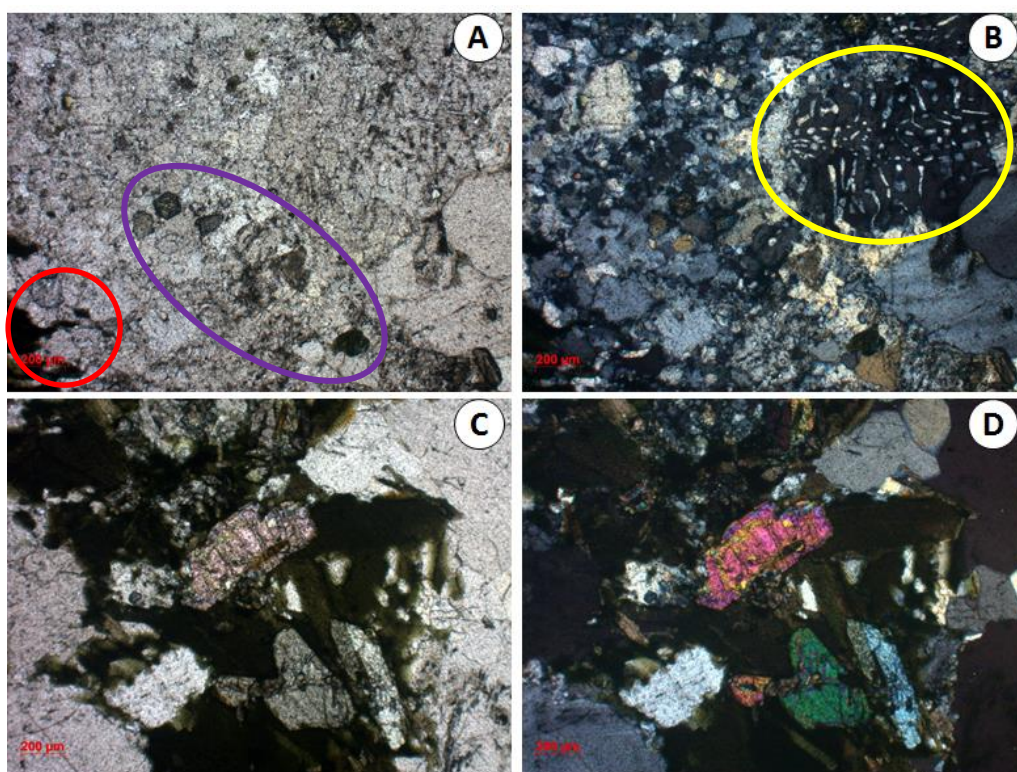
Figura: rocha alterada por meio de intemperismo esferoidal ou em forma de cebola. Fonte: Acervo do autor, 2020.

5.4.8 Análise microscópica - amostras 04 e 05, Brejo da Madre de Deus – PE

Em termos de microescala (Figura 97), foi possível identificar alguns elementos e microestruturas típicas de ambientes que sofreram tanto com deformações ligadas à tectônica e magmatismo, quanto a processos relacionados à dinâmica hidrotermal.

A partir da análise da amostra 04, foi possível comprovar a existência de minerais que passaram por processo de recristalização em *building*, tipo de deformação associado à temperaturas elevadas ($> 500 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$), e recristalização com limites lobados entre os grãos, resultando na migração do subgrão recristalizado. As lamelas são outro tipo de elemento identificado na lâmina delgada. Ela consiste em um dos vários tipos de deformação pela qual a rocha foi submetida em virtude das mudanças de condições de T e P, que possibilitaram a inclusão de minerais neoformados, oriundos do contato entre o magma de intrusão e a rocha encaixante.

Figura 97: Fotomicrografia mostrando os minerais e suas microestruturas, amostra 04, Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: (a) recristalização e ocorrência de minerais máficos, destacado em roxo, e processo de recristalização por rotação de subgrão ou *Bulbing*, resultado da migração do subgrão, em vermelho; (b) Lamelas ou cristas em forma de lâminas também chamada de hábito vermicular, ou seja, semelhantes a verminoses, em destaque na cor amarela; (c) e (d) limites lobados de grãos, sugerindo a ação de um regime termodinâmico no ambiente da rocha. Fonte: O autor, 2022.

Ainda sobre a amostra 04, nota-se a existência de fissuras em cristais de quartzo, devido aos esforços distensional e transcorrentes que atingiram a região, relativos à evolução

geotectônica no contexto da Zona Transversal. É possível visualizar também extinção ondulante no quartzo, que pode estar atrelada a tensões tectônicas, microfissuras no feldspato e geminação xadrez, no feldspato potássico, e geminação polissintética no plagioclásio. Por definição, geminação é um intercrescimento do mesmo mineral com duas ou mais orientações, onde existe relação cristalográfica entre os grãos gêmeos. Estes tipos de estruturas podem também ser geradas pela deformação de rochas ígneas solidificadas, sendo compreendido com um aspecto importante da resposta de uma rocha à deformação (Figura 98).

Figura 98: Fotomicrografia 02: Amostra 04, de afloramento em Brejo da Madre de Deus, mostrando os minerais e suas microestruturas.

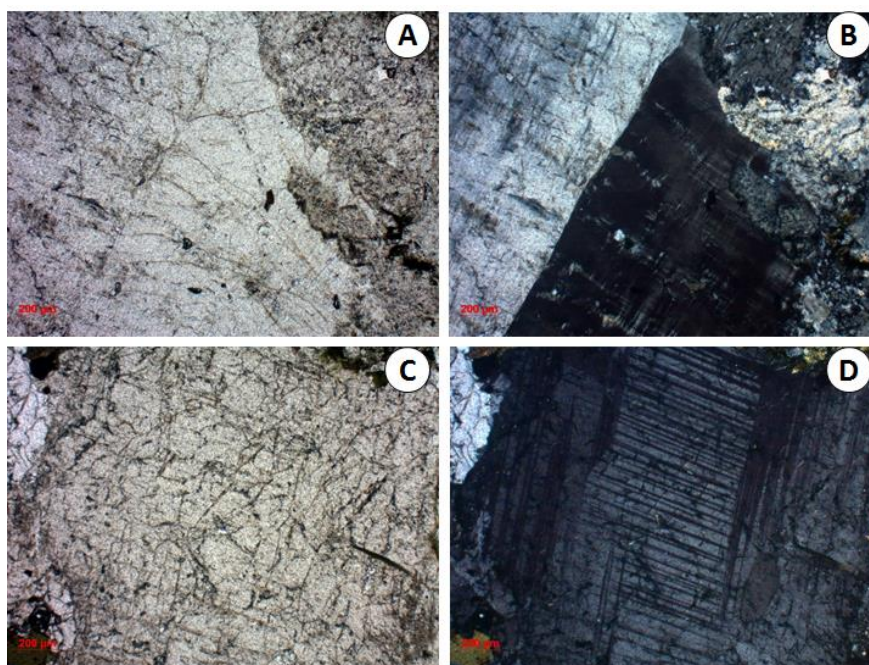


Figura: (a) fissuras no cristal de quartzo; (b) Extinção ondulante no quartzo, relacionados a tensões tectônicas); (c) microfissuras no feldspato; (d) geminação xadrez no feldspato potássico. Fonte: O autor, 2022.

Em se tratando da amostra 05 (Figuras 99 e 100), os principais minerais identificados foram Feldspato potássico, plagioclásio, biotita, anfibólio, piroxênio e titanita. Por meio das fotomicrografias foi possível verificar elementos nas amostras que lançaram luz sobre um conjunto de processos associados a eventos geotectônicos de escala regional ou mesmo global (BRITO NEVES et al., 2014).

A análise microscópica da amostra 05 destacou as deformações relacionadas à recrystalização de subgrãos, contatos serrilhados na borda dos cristais de quartzo, onde também é possível identificar inclusões de minerais máficos. Ocorrem ainda processos de argilização e sericitização, que consistem na alteração do feldspato formando sericita; um

filossilicato do grupo das micas com a composição aproximada da muscovita, porém mais hidratada e com cristalinidade menor, associada a reações de alteração por hidrotermalização ou de retrometamorfismo sobre feldspatos potássicos e outros minerais alumossilicosos potássicos por hidratação (Figura 99).

Figura 99: Fotomicrografia 01: Amostra 05, de afloramento em Brejo da Madre de Deus, mostrando os minerais e suas microestruturas.

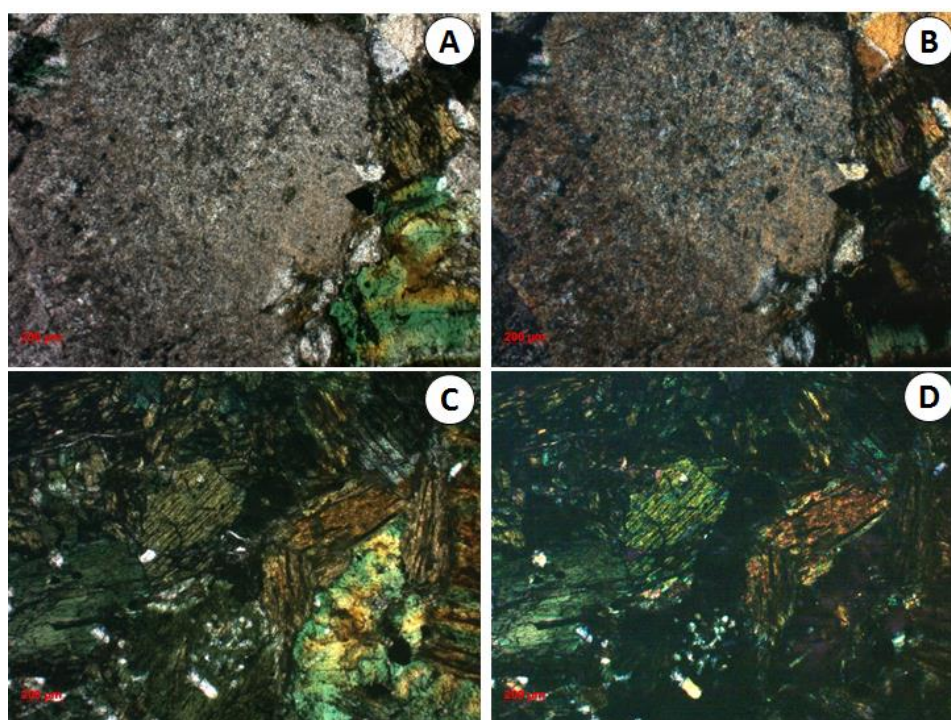


Figura: (a) inclusões de minerais máficos no feldspato – alteração; (b) recrystalização e migração da borda de grão; (c) e (d) geminação polissintética no plagiocásio e textura inequigranular e cristas anédricos, ou seja, que sofreram ruptura de sua estrutura cristalina, devido ao contato de borda de grãos. Fonte: O autor, 2022. Figura:

Outro aspecto importante sobre a amostra 05 seria refere-se ao elevado grau de alteração em que a rocha se encontra, sendo possível descrever em lâmina a transformação de alguns minerais em outros, a exemplo da alanita, que se forma a partir da oxidação da mica (Figura 100- imagens A e B). Além destes fenômenos ligados ao intemperismo, pode-se notar a ocorrência de extinção ondulante do quartzo, formação de subgrãos e recrystalização nas bordas dos cristais maiores Figura (imagens C e D), o que pode ser explicado por esforços de caráter tectônico, como já destacado em amostras anteriores.

Figura 100: Fotomicrografia 02 - Amostra 05, de afloramento em Brejo da Madre de Deus, mostrando os minerais e suas microestruturas.

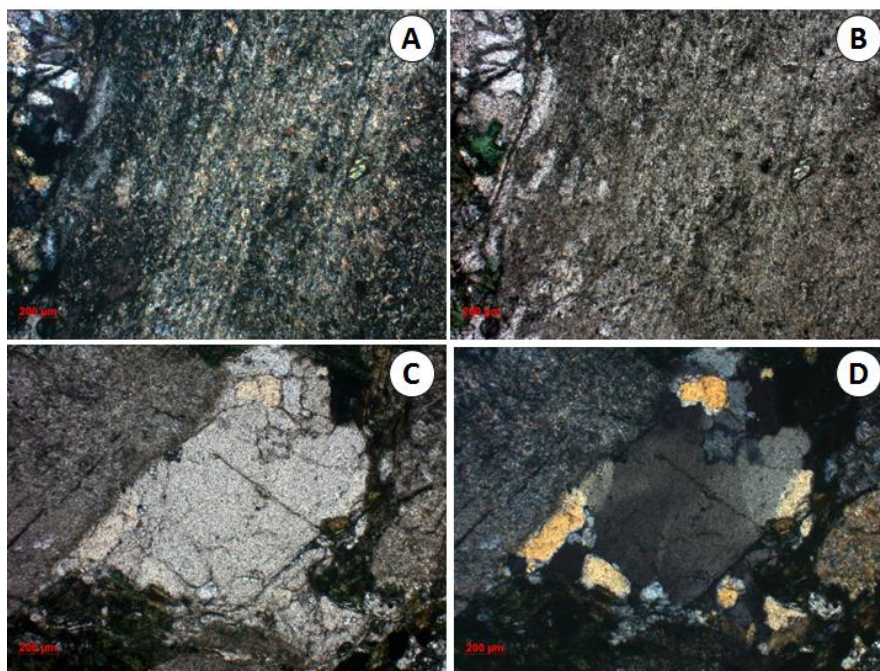


Figura: (a) (b) processo de lateração atuando sobre o feldspato; (c) e (d) microfissuras e extinção ondulante no quartzo e processo de recristalização, onde observa-se migração da borda dos grãos. Fonte: O autor, 2022.

5.4.9 Análise geoquímica das amostras 04 e 05, Brejo da Madre de Deus – PE

A amostra 04 de Brejo da Madre de Deus apresenta uma composição química bastante heterogênea, onde podem ser identificados desde metais alcalinos, alcalinos terrosos, metais de transição (predominantes) e não-metais. Foram identificados por meio geoquímica da amostra os seguintes elementos químicos: W, Si, Rh, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Al, P, Ar, e Cr. Em termos percentuais os elementos mais abundantes na amostra são: Si, com um percentual de 45,9%, Al em segundo com 18,5%, Fe com um percentual de 14,3%, Ca (9%) e K com participação de 6,5% (tabela 12).

Tabela 12: Resultados qualitativos e quantitativos dos principais elementos químicos da amostra 04_BMD, com base em análise de EDX.

Qualitative Result					

Element: W , Si, Rh, K , Ca, Ti, V , Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, Y , Zr, Al, P , Ar					
Cr					
Quantitative Result					

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)

Si	47.698 %	[0.614]	Quan-FP	SiKa	0.8224
Al	18.517 %	[0.870]	Quan-FP	AlKa	0.0328
Fe	14.397 %	[0.065]	Quan-FP	FeKa	87.8587
Ca	9.721 %	[0.061]	Quan-FP	CaKa	3.3173
K	6.563 %	[0.060]	Quan-FP	K Ka	1.4603
Ti	2.365 %	[0.044]	Quan-FP	TiKa	4.5077
Sr	0.208 %	[0.003]	Quan-FP	SrKa	5.2658
Mn	0.158 %	[0.012]	Quan-FP	MnKa	0.7264
Zr	0.150 %	[0.004]	Quan-FP	ZrKa	4.4572
V	0.087 %	[0.020]	Quan-FP	V Ka	0.2389
Zn	0.069 %	[0.006]	Quan-FP	ZnKa	0.6947
Rb	0.033 %	[0.004]	Quan-FP	RbKa	0.7551
Y	0.018 %	[0.003]	Quan-FP	Y Ka	0.4968
P	0.017 %	[0.119]	Quan-FP	P Ka	0.0004

Fonte: O autor, 2022.

A amostra 05, em termos geoquímicos, apresenta certas semelhanças com a amostra 04 quanto à composição e elementos mais abundantes. Na amostra foram identificados os seguintes elementos químicos: Rb, Si, Rh, K, Ca, Ba, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr, Y, Zr, Ag, Al, P e V (tabela 13). Quanto às diferenças entre as amostras, podem ser citadas pequenas variações na composição, por conta da presença incomum de alguns elementos em ambas as amostras. Por exemplo, na amostra 04 notamos a presença de Argônio (Ar), um gás nobre, e o Cromo (Cr), metal de transição, estabelecido no grupo 6 da Tabela Periódica. Estes elementos por sua vez, não aparecem na amostra 05. Por outro lado, a amostra 05 contém em sua composição a prata (Ag) e valádio (V), que não fazem parte da composição da amostra 04. A prata e o Valádio são metais de transição. Em termos percentuais, há abundância de Si, respondendo por mais de 40% da composição química da amostra. Em seguida temos Al, com 23,4%, o Fe com 14,3%, K (12%) e o Ca corresponde a 6,2%.

Nota-se que os elementos químicos mais abundantes nas amostras se repetem, contudo, há diferença entre as amostras, que neste contexto se dá pela diferença em relação

aos percentuais de K e Ca, visto que na amostra 04 o Cálcio (Ca) aparece na quarta posição e o Potássio (K) em quinto. Já na amostra 05 temos o inverso.

Tabela 13: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 05_BMD, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Rb, Si, Rh, K, Ca, Ba, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr, Y, Zr, Ag, Al, P, V

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	40.555 %	[0.557]	Quan-FP	SiKa	0.9146
Al	23.411 %	[0.913]	Quan-FP	AlKa	0.0575
Fe	14.364 %	[0.062]	Quan-FP	FeKa	121.8255
K	12.030 %	[0.081]	Quan-FP	K Ka	3.7911
Ca	6.202 %	[0.046]	Quan-FP	CaKa	2.7756
Ti	1.397 %	[0.028]	Quan-FP	TiKa	3.7250
Ba	0.988 %	[0.129]	Quan-FP	BaLa	0.8772
Sr	0.303 %	[0.004]	Quan-FP	SrKa	10.7084
P	0.253 %	[0.107]	Quan-FP	P Ka	0.0098
Mn	0.223 %	[0.012]	Quan-FP	MnKa	1.4300
Zr	0.154 %	[0.004]	Quan-FP	ZrKa	6.3682
Ag	0.049 %	[0.009]	Quan-FP	AgKa	0.8325
Zn	0.038 %	[0.005]	Quan-FP	ZnKa	0.5373
Rb	0.019 %	[0.003]	Quan-FP	RbKa	0.6089
Y	0.014 %	[0.003]	Quan-FP	Y Ka	0.5197

Fonte: O autor, 2022.

5.4.10 Análise macroscópica – amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE

A amostra 06 foi coletada no Parque das Esculturas Nilo Coelho, no Distrito de Fazenda Nova, em Brejo da Madre de Deus (Figura 101). A relevância da área se deve à ocorrência de várias feições graníticas, tanto com gênese associada à saprolitização, como as que se formam por processos intempéricos (físicos e químicos), ou mesmo aquelas onde os fatores tectônicos tiveram grande interferência.

Figura 101: local de coleta amostra 06, Parque das Esculturas Monumentais Nilo Coelho, Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Google Earth Pro, 2022.

Em termos macroscópicos a amostra 06 (Figura 102) pode ser definida como uma rocha ígnea, do tipo monzogranito, que apresenta textura fanerítica a porfirítica, holocristalina e inequigranular, com granulação de média a grossa e presença de megacristais de feldspato potássico de até 8 cm. A rocha apresenta uma coloração leucocrática, o que está relacionada ao grande percentual de minerais félsicos em sua composição, a exemplo de Feldspato potássico, Plagioclásio e Quartzo, que juntos representam cerca de 80% da composição mineral da amostra.

Figura 102: Aspectos macroscópicos da amostra de rocha 06, em Brejo da Madre de Deus – PE.

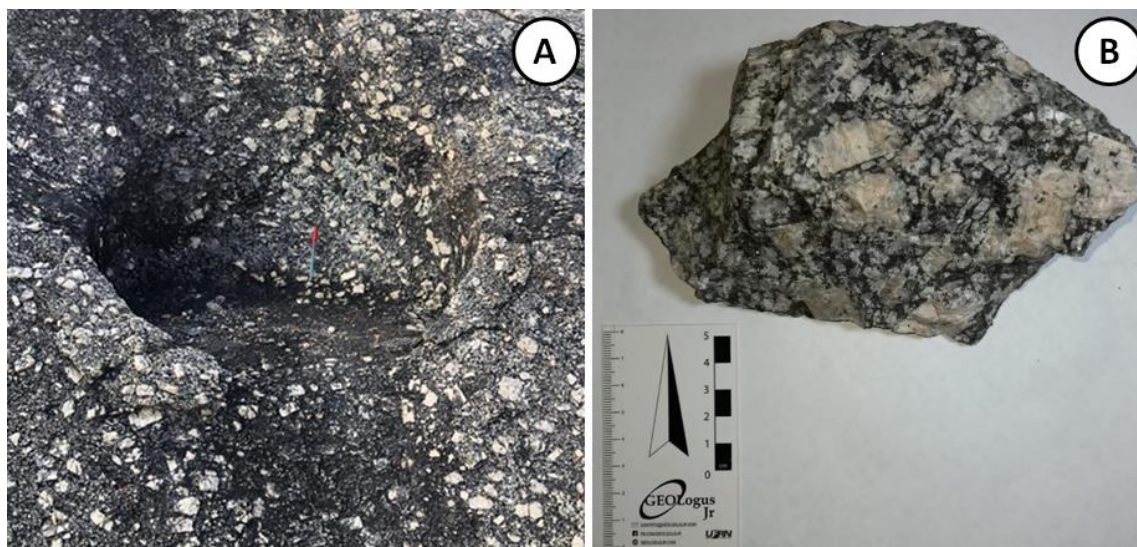


Figura: (a) Aspecto textural do momzogranito em nível de afloramento; (b) Amostra de mão, com destaque para os megacristais de feldspato de cor clara. Fonte: Acervo do autor, 2020.

Na área amostrada foi possível identificar um fenômeno denominado mistura de magma (Figura 103), onde material félsico migrou de camadas mais interiores da crosta para porções mais superficiais, penetrando nas rochas máficas mais antigas. Neste processo de migração vertical, a rocha escura pré-existente sofre ruptura com a entrada de material félsico intrusivo. Na subida da rocha félsica, pedaços da rocha escura são arrastados pelo fluxo, podendo sofrer recristalização ou algum tipo de deformação por aquecimento, o que dá origem a formas de lentes ou bandas de minerais escuros.

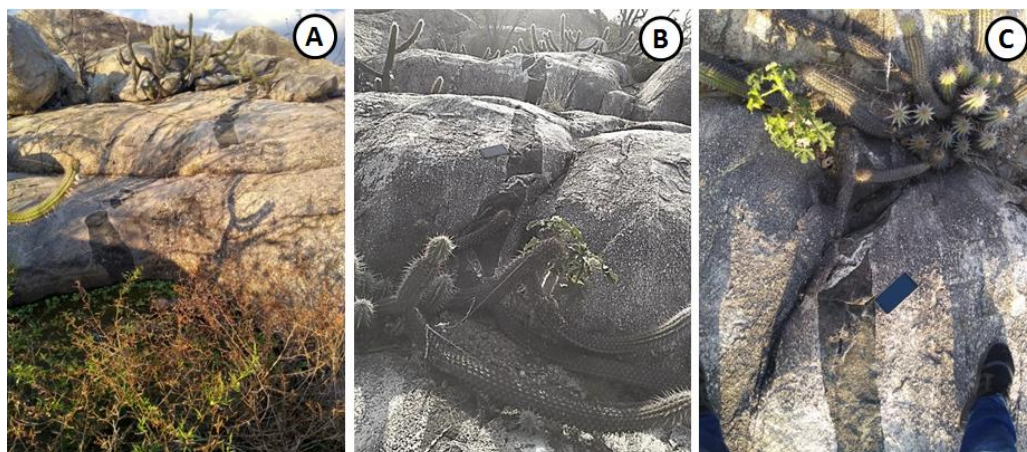
Figura 103: mistura de magma félsico com máficos em afloramento de rochas no Parque das Esculturas Nilo Coelho, em Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2020.

Além de se apresentar em forma de lentes, a rocha mais escura pode se apresentar em porções ovaladas imersas em massa rochosa félsica formando xenólitos – mistura de magma félsico com magma de minerais máficos das paredes de rochas encaixante (Figura 104). Os xenólitos são fragmentos de rocha que o magma incluiu durante sua ascensão ou colocação. Eles representam material sólido completamente alheio ao magma, cuja origem é geralmente a rocha hospedeira.

Figura 104: mistura de magma félsico com máficos em afloramento de rochas no Parque das Esculturas Nilo Coelho, em Brejo da Madre de Deus – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2020.

Em se tratando dos minerais máficos existentes nestas rochas escuras, pode-se afirmar que eles se formam primeiro, mas se decompõem primeiro também (Figura 105). Os minerais como a hornblenda (anfibólio) e biotita, por exemplo, tendem a se interperizar bem antes que o quartzo. A decomposição dos máficos deixa espaços porosos na rocha que ao se expandirem passam a gerar feições de intemperismo com as marmitas.

Figura 105: Série de Goldich: ordem de estabilidade frente ao intemperismo dos minerais mais comuns. Comparação com a série de cristalização magmática de Bowen.

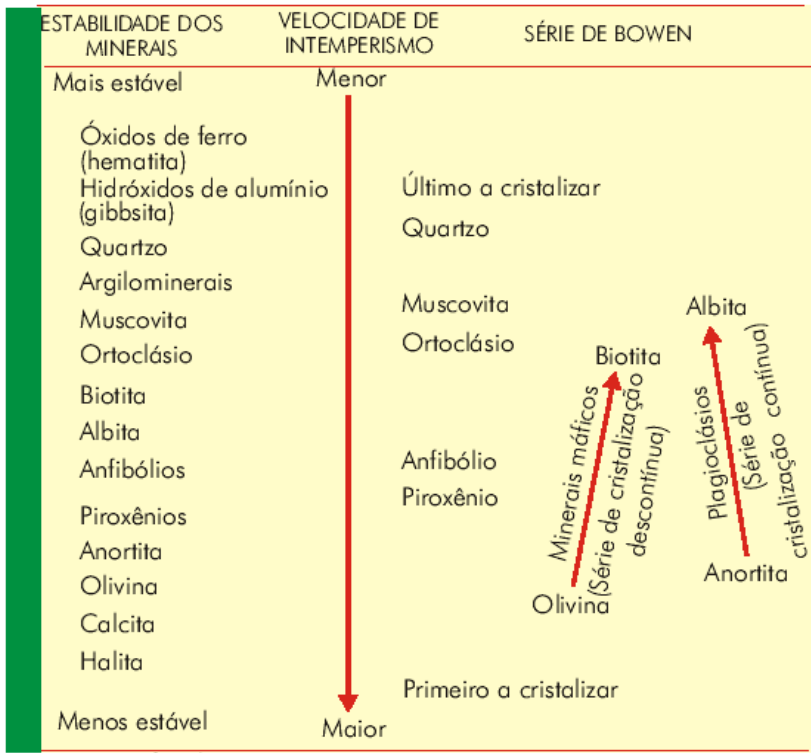


Tabela 8.1 Série de Goldich: ordem de estabilidade frente ao intemperismo dos minerais mais comuns. Comparação com a série de cristalização magmática de Bowen.

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

5.4.11 Análise microscópica - amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE

A partir da análise microscópica da amostra foi possível realizar a classificação modal para identificar os minerais constituintes da rocha (essenciais, acessórios e traços). Neste sentido, o Feldspato potássico foi o mineral mais abundante, respondendo por cerca de 31% do total da amostra, em seguida ocorre o Plagioclásio (25%) e o Quartzo (18%). Estes minerais constituem a fase félsica da amostra, representando juntos mais de 75% de sua composição (tabela 14).

Dentre os minerais máficos destaca-se o Anfibólio, que integra cerca de 10% e a Biotita, com 8% da composição. Estes minerais em geral aparecem entre os espaços gerados

entre o feldspato e o quartzo, onde é comum o processo de recristalização dinâmica e hidrotermal. Além destes, aparecem em menores quantidades Titanita (3%), Apatita (2%), Clorita (2%), o zircão (menos de 1%) e opacos com cerca de 1% no total da amostra.

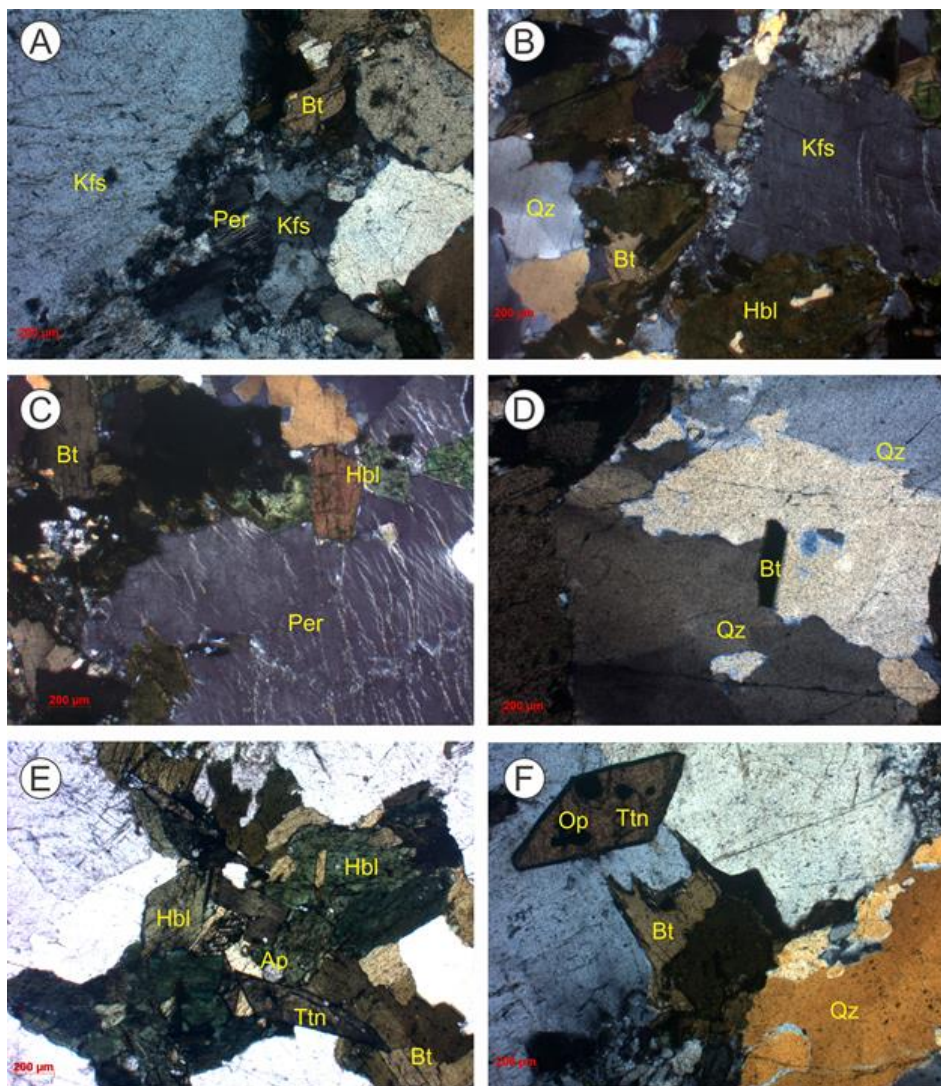
Tabela 14: Composição modal da amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE.

Minerais	%
Plagioclásio	± 25
Feldspato potássico	± 31
Quartzo	± 18
Anfibólio	± 10
Biotita	± 8
Titanita	± 3
Apatita	± 2
Zircão	< 1
Opacos	± 1
Clorita	± 2

Fonte: O autor, 2022.

Sobre as estruturas em microescala, pode-se destacar principalmente elementos relacionados à deformação em regime rúptil e plástico, expressas nas estruturas cristalinas, na borda e no contato entre os minerais, que em muitos casos, ocorrem por meio dos processos de recristalização, rotação ou migração ou acomodação das bordas dos grãos. Além destas microestruturas, também foi possível identificar elementos que sugerem processos de deformação relacionados ao contexto tectônico, tais como alguns tipos de extinção, pertitas em chamás e mirmequita. Também foi possível identificar processos incipientes de alteração química na amostra, que podem ser definidos a partir da presença de cristais de biotita e anfibólios cloritizados (Figura 106).

Figura 106: Fotomicrografia amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE.



AMOSTRA A6BMD. (A) Fotomicrografia enfatizando a ocorrência de agregado recrystalizado de quartzo e feldspato potássico, é possível observar feldspato pertítico ocorrendo no agregado – NC. (B) Foto geral mostrando o desenvolvimento da recrystalização nas bordas de cristais de feldspato potássico, quartzo com extinção ondulante também pode ser observado – NC. (C) Feldspato potássico pertítico mostrando textura em chamas – NC. (D) Cristal grande de quartzo mostrando extinção ondulante e inclusão de biotita – NC. (E) Forma típica de ocorrência de minerais máficos e acessórios (em agregados), presença de biotita, hornblenda, apatita e titanita – NP. (F) Titanita mostrando a típica terminação em cunha e inclusões de minerais opacos (possivelmente ilmenita) – NC. Ap – apatita; Bt – biotita; Hbl – hornblenda; Kfs – feldspato potássico; Mir – mirmequita; Per – pertita; Pl – plagioclásio; Qz – quartzo; Ttn – titanita. NP – nicóis paralelos; NC – nicóis cruzados.

5.4.12 Análise geoquímica da amostra 06, Brejo da Madre de Deus – PE

Na tabela é possível identificar os principais elementos químicos presentes na geoquímica da amostra de rocha 06 (tabela 15). Com base na análise dos dados quantitativos e qualitativos da amostra, foi possível destacar alguns aspectos condizentes aos processos geoquímicos.

Tabela 15: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 06_BMD, com base em análise de EDX.

Qualitative Result					
Element: Rb, Si, Rh, K , Ca, Ti, V , Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Y , Zr, Ba, Al, P					
Quantitative Result					
Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	44.683 %	[0.561]	Quan-FP	SiKa	0.9371
Al	23.075 %	[0.900]	Quan-FP	AlKa	0.0545
Fe	11.366 %	[0.056]	Quan-FP	FeKa	88.9397
K	9.439 %	[0.069]	Quan-FP	K Ka	2.6273
Ca	8.457 %	[0.053]	Quan-FP	CaKa	3.4663
Ti	1.681 %	[0.036]	Quan-FP	TiKa	3.9447
Sr	0.475 %	[0.005]	Quan-FP	SrKa	16.3928
P	0.286 %	[0.140]	Quan-FP	P Ka	0.0097
Mn	0.216 %	[0.013]	Quan-FP	MnKa	1.2632
Zr	0.125 %	[0.004]	Quan-FP	ZrKa	5.0481
V	0.113 %	[0.020]	Quan-FP	V Ka	0.3846
Cu	0.024 %	[0.005]	Quan-FP	CuKa	0.2721
Zn	0.024 %	[0.005]	Quan-FP	ZnKa	0.3232
Rb	0.020 %	[0.003]	Quan-FP	RbKa	0.6238
Y	0.016 %	[0.003]	Quan-FP	Y Ka	0.5916

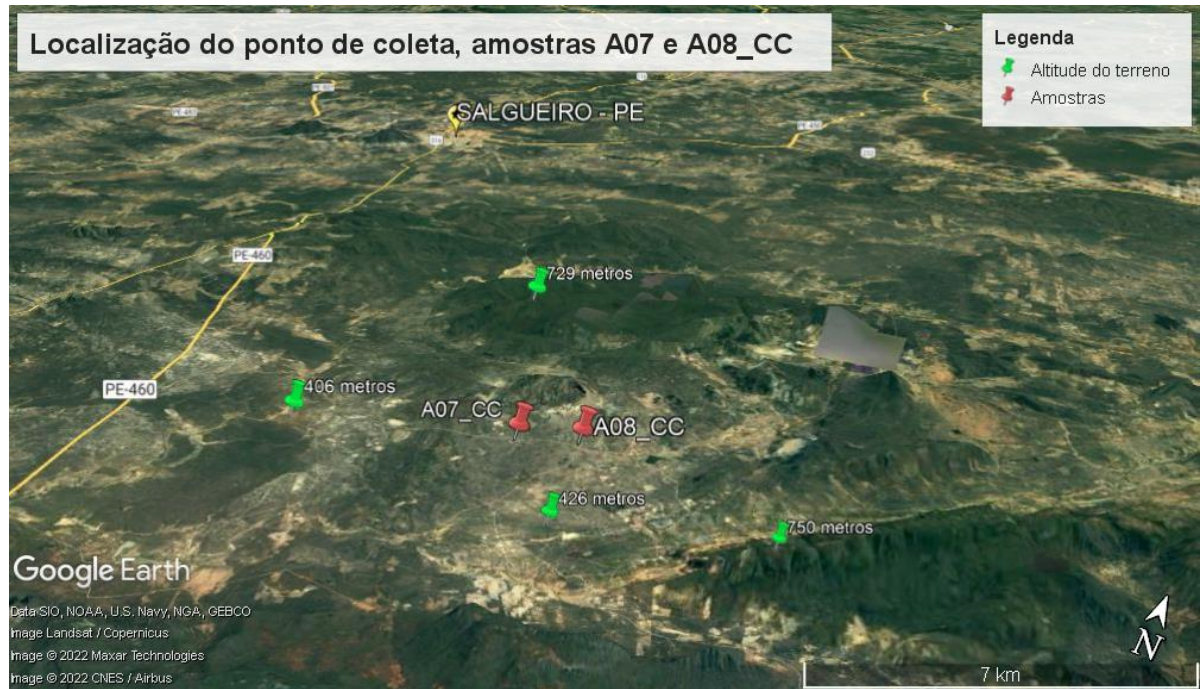
Fonte: O autor, 2022.

5.4.13 Análise macroscópica – amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE

As amostras 07 e 08, coletadas no Distrito de Conceição das Crioulas, em Salgueiro (Figura 107) foram coletadas ao longo das margens de uma estrada carroçável que se conecta à PE-460. Os pontos de coletas foram selecionados por estarem inseridos sobre embasamento de granito de textura grossa a média, de cor clara, onde se destacam megacrístais de feldspato. Estes aspectos, como já discutidos, são bastante relevantes para se distinguir o padrão de distribuição das marmitas de dissolução nas áreas investigadas.

Com base na observação das amostras em afloramento e amostra de mão, ambas foram classificadas como ígneas, do tipo monzogranito, de textura fanerítica, holocristalina, inequigranular, com granulação variando de média a grossa, onde os minerais de cor clara se destacam na amostra, enquanto os máficos apresentam dimensões bem inferiores, formando uma matriz mais fina (Figuras 108 e 109).

Figura 107: Local de coleta amostras 07 e 08, no Distrito de Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE



Fonte: Google Earth Pro, 2022.

Figura 108: Amostra 07 em afloramento (a) e amostra de mão (b), em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2020.

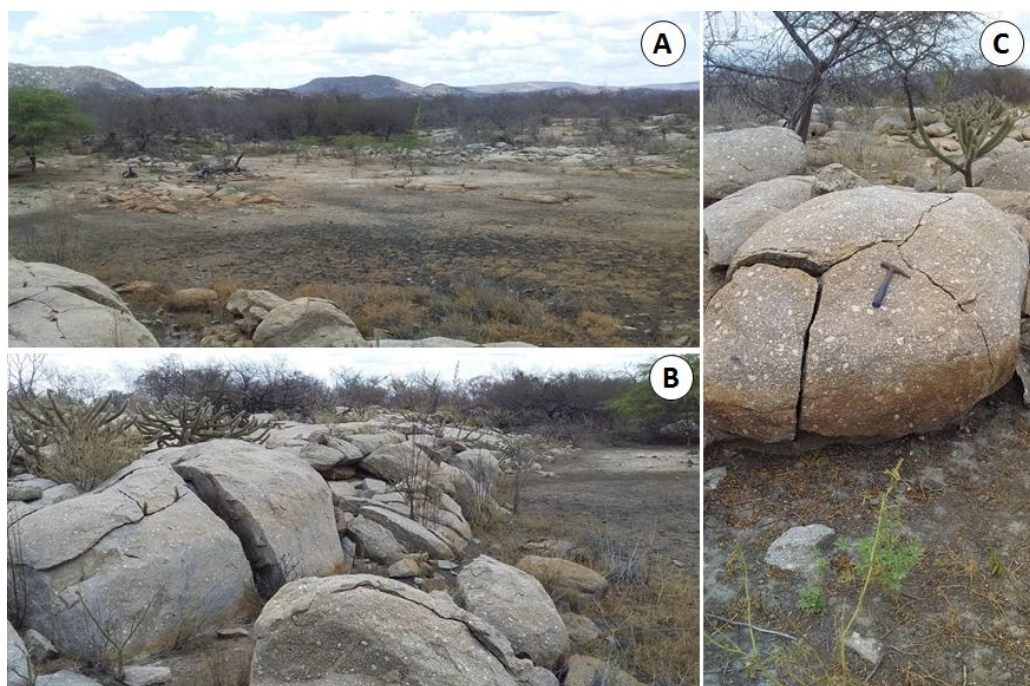
Figura 109: Amostra 08 em afloramento (a) e amostra de mão (b), em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2020

No afloramento onde foi coletada a amostra 08, nota-se ainda importantes processos intempéricos nas rochas, sobretudo mecânico ou físico, impulsionados pela dilatação volumétrica dos minerais constituintes das rochas, o que causa o estresse entre as bordas dos minerais, culminado com a meteorização da rocha. Este tipo de intemperismo é típico das regiões semiáridas e desérticas do globo (Figura 110).

Figura 110: intemperismo físico em rochas do afloramento em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2020

5.4.14 Análise microscópica - amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE

Em termos microscópicos as amostras 07 e 08 apresentam uma composição mineralógica formada principalmente por quartzo, feldspato potássio e plagioclásio. Biotita e anfibólio são os principais máficos presentes. Epidoto, allanita, titanita, apatita, minerais opacos e zircão formam a mineralogia acessória (tabela 16). A partir da observação em nível microscópico foram indentificados os minerais constituintes da rocha, tanto essenciais como acessórios, o que possibilitou entender mais sobre as deformações e microestruturas presentes.

Plagioclásio: cristais preferencialmente subédricos, com bordas ligeiramente arredondadas, geminação polissintética (lei da albita) e geminação simples (carlsbad). Possuem granulação grossa (até 3 mm) e apresentam contatos serrilhados. Inclusões de biotita, titanita, zircão e anfibólio podem ser observadas. Alguns cristais de plagioclásio mostram leve curvatura das geminações, além de extinção ondulante, o que possivelmente está associado à deformação mecânica. Alteração para muscovita (sericitização), epidoto (saussuritização, Figura 112-Foto B) e argilominerais são frequentes e se desenvolvem principalmente ao longo do plano de geminação.

Tabela 16: Composição modal das amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.

Minerais	%
Plagioclásio	± 20
Feldspato potássico	± 25
Quartzo	± 30
Anfibólio	± 7
Biotita	± 10
Epidoto	± 4
Titanita	± 1
Apatita	< 1
Zircão	< 1
Opacos	< 1

Fonte: O autor, 2022.

Feldspato potássico: apresentam geminação simples (carlsbad) ou cruzada (xadrez), exsolução do tipo pertita são frequentes. Os cristais são subédricos, possuem contatos irregulares e podem chegar a 4 mm. Frequentemente o feldspato potássico apresenta inclusões

de anfibólio, biotita, quartzo, titanita, epidoto e opacos, caracterizando uma textura poiquilítica. Pertitas em chamas também ocorrem e marcam a atuação da deformação mecânica na rocha. Frequentemente encontra-se alterado para argilominerais (Figura 111-Foto C).

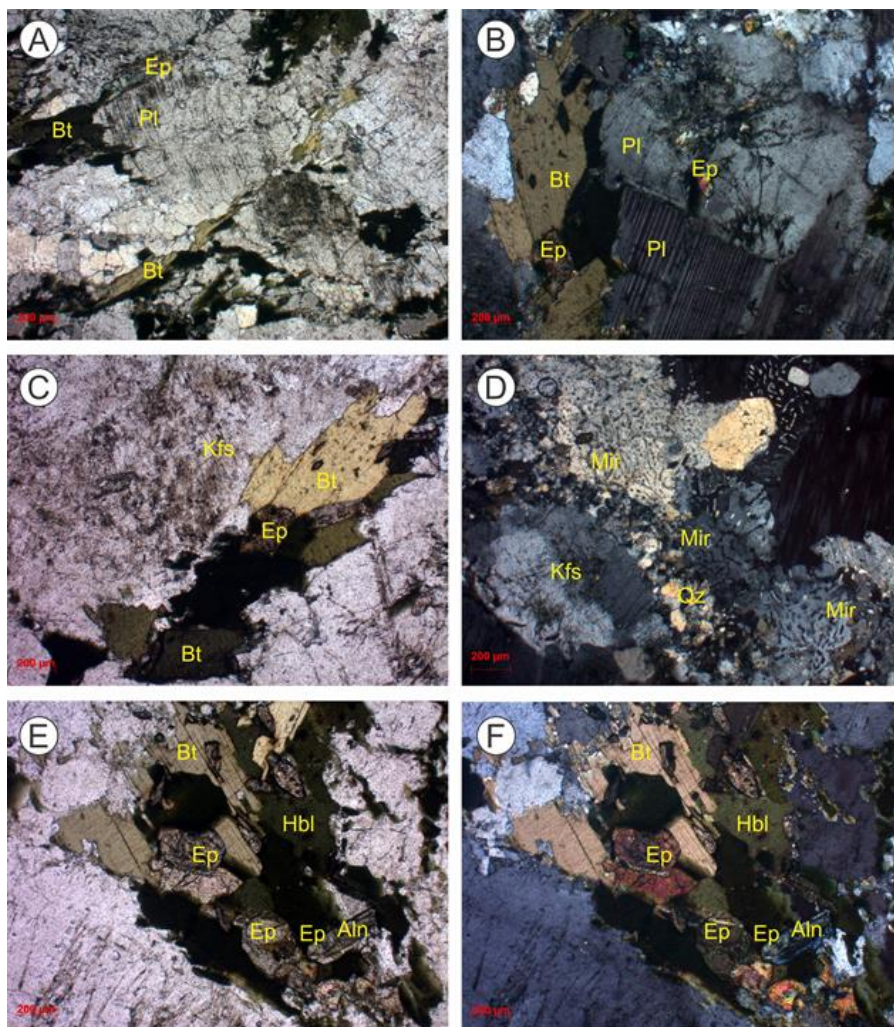
Quartzo: ocorrem de forma variada, desde cristais relativamente grandes (~1 mm) em agregados de quartzo (que podem chegar a 5 mm) a cristais pequenos inclusões em feldspato potássico, formando textura gráfica (mirmequitas, Foto D) ou como cristais recristalizados. Os cristais maiores nos agregados de quartzo possuem contatos lobados (quartzo-quartzo) e serrilhados com os demais minerais. Os cristais pequenos inclusos em feldspato potássico são preferencialmente subarredondados. Cristais de epidoto, titanita e biotita podem ocorrer inclusos nos agregados. Extinção ondulante é característica e pertinente a todos os grãos.

Biotita: principal mineral máfico, subédrico, pode chegar a 2 mm de comprimento. Formam lamelas de cor amarelada e apresentam grande quantidade de inclusões, principalmente de epidoto. Titanita, apatita, zircão e opacos também podem ocorrer inclusos na biotita. Por sua vez, os cristais de biotita podem ocorrer inclusos em feldspato e agregados de quartzo. Em algumas porções da seção é possível observar uma orientação preferencial dada por biotita, juntamente com anfibólio e epidoto. Alteração para clorita é observada em alguns cristais.

Anfibólio (hornblenda): ocorrem como cristais subédricos, apresentando a típica clivagem em dois planos formando ângulos 56° e 124° entre si. Os cristais são fortemente pleocróicos, de cor verde com variações entre castanho e verde escuro, e podem atingir 2 mm de comprimento. Apresentam inclusões de epidoto, titanita, apatita, zircão e opacos. Ainda, podem ocorrer como inclusões principalmente em feldspato potássico. Por vezes estão alongados (levemente estirados) formando uma orientação preferencial juntamente com biotita e epidoto. Alteração para clorita pode ser observada.

Epidoto: é o principal mineral acessório, são subédricos a euédricos, podem chegar a 1 mm e ocorrem principalmente como inclusão em outros minerais. Muitos cristais apresentam núcleos de allanita (Foto E e F). Alguns cristais podem ocorrer alongados formando uma orientação preferencial juntamente com biotita e anfibólio. Também podem ser encontrados isolados (sem núcleo de allanita) como resultado da alteração de feldspato (saussuritização).

Figura 111: Fotomicrografia Amostra 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.



AMOSTRA A8CC. (A) Orientação incipiente dada por cristais alongados de biotita e epidoto – NP. (B) Saussuritização em cristais de plagioclásio – NC. (C) Feldspato potássico alterando para argilominerais, cristais de epidoto inclusos em biotita também podem ser observados – NP. (D) Mirmequitas abundantes e recrystalização de quartzo – NC. (E, F) Agregado de biotita, anfibólio (hornblenda) e epidoto com núcleo de allanita em nicóis paralelos e cruzados respectivamente. Aln – allanita; Bt – biotita; Ep – epidoto; Hbl – hornblenda; Kfs – feldspato potássico; Mir – mirmequita; Pl – plagioclásio; Qz – quartzo. NP – nicóis paralelos; NC – nicóis cruzados.

Titanita: ocorrem como cristais euédricos, com hábito losangular e terminações em cunha. Sua coloração é amarronzada e os cristais podem chegar a 0,5 mm. Ocorre principalmente como inclusões em anfibólio e biotita.

Apatita: formam pequenos cristais euédricos, de hábito hexagonal e relevo alto. Frequentemente estão inclusos em biotita e anfibólio.

Zircão: ocorre de forma escassa e em pequenos cristais euédricos, prismáticos que, por vezes podem apresentar halos pleocróicos.

Opacos: cristais pequenos, subédricos a euédricos, ocorrem preferencialmente inclusos em biotita e anfibólio.

Clorita: mineral de alteração, de cor verde e hábito lamelar, ocorre como produto de alteração em cristais de biotita e anfibólio.

Muscovita: ocorre como produto de alteração de feldspatos (sericitização), se desenvolvendo principalmente ao longo dos planos de geminação.

5.4.15 Análise geoquímica das amostras 07 e 08, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE

Em termos geoquímicos, as amostras 07 e 08 coletadas em Conceição das Crioulas não se diferenciam tanto em comparação com as amostras anteriores, no que diz respeito aos minerais e também em relação à composição química elementar.

Na amostra 07 os elementos químicos mais abundantes são: Si (51,58%), Al (23,34%), K (16,93%), Ca (3,41%) e Fe (3,35%), como pode ser observado na tabela. A amostra 08, por sua vez, apresenta uma grande concentração Si (53,57%), Al (21,51%), K (12,06%), Fe (5,69%) e não menos importante o Ca, com um percentual de 5,32%, semelhante ao que pode ser observado em relação a amostra 07, com pequenas variações (tabela 18).

Tabela 17: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 07, Conceição das Crioulas, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Rb, Si, Rh, Ag, K, Ca, Ba, Ti, Fe, As, Sr, Y, Zr, Al, Ar, Dy, Zn

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	51.584 %	[0.477]	Quan-FP	SiKa	1.1306
Al	23.349 %	[0.650]	Quan-FP	AlKa	0.0628
K	16.939 %	[0.079]	Quan-FP	K Ka	4.3549
Ca	3.410 %	[0.026]	Quan-FP	CaKa	1.1806
Fe	3.356 %	[0.028]	Quan-FP	FeKa	26.2027
Ti	0.592 %	[0.031]	Quan-FP	TiKa	1.2655
Ba	0.348 %	[0.093]	Quan-FP	BaLa	0.2476
Sr	0.163 %	[0.002]	Quan-FP	SrKa	6.9581
Rb	0.106 %	[0.003]	Quan-FP	RbKa	4.0628
Ag	0.087 %	[0.007]	Quan-FP	AgKa	1.8125
Zr	0.060 %	[0.003]	Quan-FP	ZrKa	2.9839
Y	0.008 %	[0.002]	Quan-FP	Y Ka	0.3629

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 18: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 08, Conceição das Crioulas, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Rb, Si, Rh, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Zn, Sr, Y, Zr, Pd, Ag, Ba, Al

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	53.576 %	[0.533]	Quan-FP	SiKa	1.1050
Al	21.511 %	[0.670]	Quan-FP	AlKa	0.0521
K	12.068 %	[0.072]	Quan-FP	K Ka	2.9128
Fe	5.692 %	[0.039]	Quan-FP	FeKa	42.0466
Ca	5.328 %	[0.037]	Quan-FP	CaKa	1.8471
Ti	1.215 %	[0.030]	Quan-FP	TiKa	2.5255
Sr	0.154 %	[0.004]	Quan-FP	SrKa	5.8347
Zr	0.091 %	[0.003]	Quan-FP	ZrKa	4.0287
Rb	0.082 %	[0.003]	Quan-FP	RbKa	2.7971
Mn	0.076 %	[0.010]	Quan-FP	MnKa	0.4112
V	0.060 %	[0.018]	Quan-FP	V Ka	0.1805
Ag	0.058 %	[0.008]	Quan-FP	AgKa	1.0714
Zn	0.042 %	[0.005]	Quan-FP	ZnKa	0.6265
Pd	0.039 %	[0.008]	Quan-FP	PdKa	0.7602
Y	0.008 %	[0.003]	Quan-FP	Y Ka	0.3197

Fonte: O autor, 2022.

5.4.16 Análise macroscópica – amostra 09, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE

Rocha metamórfica, bandada, de granulação majoritariamente grossa (granulação fina apenas nas porções recristalizadas), fortemente anisotrópica (orientação dos minerais é bem-marcada), texturas holocristalina e inequigranular (Figura 112). A amostra faz parte da classe das rochas metamórficas, do tipo granada-biotita gnaiss protomilonítico. A rocha possui textura granoblástica definida por cristais de quartzo e feldspatos em bandas leucocráticas e textura lepidoblástica definida pela orientação dos cristais de biotita nas bandas mesocráticas.

Figura 112: Aspectos macroscópicos da amostra 09, coletada em Conceição das Crioulas, em Salgueiro – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

A área onde foi coletada a amostra 09 (Figura 113) está sobre um pedimento, delimitado a SE pela ocorrência de relevo em cristas. Esta unidade de relevo é uma resposta à instabilidade tectônica que repercutiu intensamente na formação dos aspectos geológicos e geomorfológicos da região, como já discutido. Estas estruturas em cristas estão adaptadas a zonas de cisalhamento e suas direções obedecem aos trends regionais com direção geral NE/SW.

Figura 113: Ponto de coleta da amostra 09, em Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE.

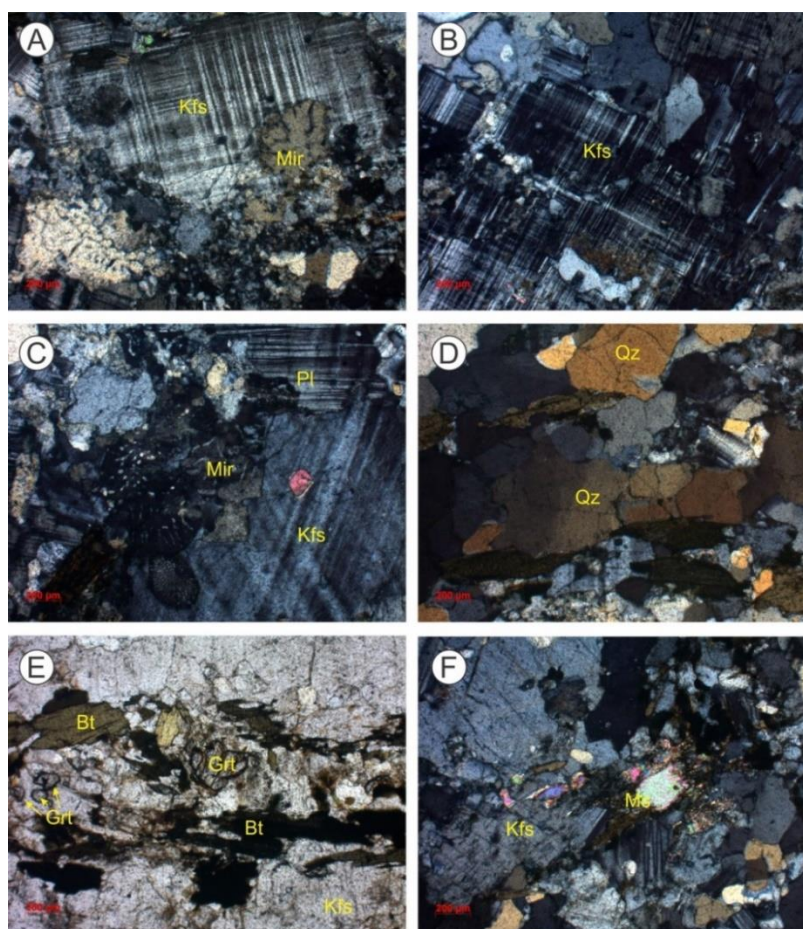


Fonte: Google Earth Pro, 2022

5.4.17 Análise microscópica - amostra 09, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE

Possui textura marcada pela presença de Porfiroclastos de feldspato potássico de até 5 mm, encontrados em uma matriz predominantemente quartzo-feldspática (Figura 114). O principal mineral máfico é a biotita, seguido de granada. Granada, muscovita, apatita e zircão representam as principais fases minerais acessórias, das quais muscovita ocorre de forma secundária, como resultado do processo de alteração. Os feldspatos alcalinos encontram-se sericitizados e/ou com alteração para argilominerais (material de granulação muito fina e coloração marrom a preta).

Figura 114: Fotomicrografia, amostra 09, Conceição das Crioulas, Salguiero – PE.



AMOSTRA A9CC. (A) Cristal de feldspato potássico de granulação grossa, com presença de recrystalização e intercrescimento do tipo mirmequita em sua borda – NC. (B) Feldspato potássico com geminação tartan ou xadrez bem definida, típica de microclina. Intercrescimento com cristais de feldspato e quartzo também pode ser observado – NC. (C) Formação de mirmequita na bora de feldspato potássico em contato com plagioclásio – NC. (D) Cristais xenomórficos de quartzo com extinção ondulante – NC. (E) Orientação de cristais de biotita definindo uma textura lepidoblástica à rocha. Na imagem, também podem ser observados cristais xenomórficos de granada – NP. (F) Feldspato potássico alterado por sericitização, evidenciando formação de muscovita secundária – NC. Bt – biotita; Grt – granada; Kfs – feldspato potássico; Mir – mirmequita; Ms – muscovita; Pl – plagioclásio; Qz – quartzo. NP – nicóis paralelos; NC – nicóis cruzados.

Diversos cristais de feldspato apresentam diminuição da borda do grão e intercrescimento do tipo mirmequita, evidenciando recrystalização dinâmica. Extinção ondulante nos grãos de quartzo é comum, bem como a formação de subgrãos e neoblastos. A

presença de algumas porções dominadas por material recristalizado confere à rocha a classificação de protomilonito.

Feldspato potássico (microclina): cristais xenomórficos, de granulação grossa a média, ou porfiroclastos de até 5 mm, incolor, de cor de interferência cinza de 1ª ordem. Apresentam embainhamento e/ou recristalização em suas bordas (Figura 114 - Foto A), contatos irregulares com demais minerais ou contatos serrilhados com outros cristais de feldspato potássico. A geminação tartan (ou xadrez), resultado da combinação entre os planos de geminação da lei da albita e lei da periclina, são feições características (Figura 114 - Foto B). Alguns cristais apresentam pertitas com visíveis lamelas de plagioclásio exsolvidas em cristais de microclina, ou textura incipiente de pertita em chamás, onde as lamelas de plagioclásio não são mais visíveis. Os cristais encontram-se deformados, apresentando bordas recristalizadas e intercrescimento do tipo mirmequita Figura 114 (Foto A e C) nas porções mais deformadas.

Quartzo: cristais xenomórficos, de granulação média a grossa, incolor, com contatos côncavo-convexos com demais minerais félsicos. Podem ocorrer sob a forma de grãos estirados, intensamente deformados (ribbons ou quartzo fitado). Em geral, a cor de interferência está entre amarelo ouro e amarelo pálido de 1ª ordem. Ocorrem agrupados em bandas quartzosas orientadas, definindo uma textura granoblástica à rocha. Possuem extinção ondulante bem-marcada (Foto D) e podem ocorrer de forma vermicular nos intercrescimentos do tipo mirmequita nas bordas dos cristais de feldspato potássico.

Plagioclásio: cristais xenomórficos, de granulação média, incolor, com geminação polissintética (lei da albita) e contatos côncavo-convexos com demais minerais. Possuem cor de interferência cinza de 1ª ordem. Cristais de granulação fina podem ser observados nas porções dominadas por recristalização.

Biotita: cristais hipidiomórficos, hábito lamelar e granulação média. Apresenta um traço de clivagem bem demarcado em seções longitudinais. Pleocroísmo forte, com cores de pleocroísmo entre marrom escuro e amarelo pálido. Extinção reta (paralela à direção de clivagem) e do picotada (olho de peixe) são características distintivas. Ocorrem de forma espaçada ao longo da seção delgada ou em camadas mesocráticas mais ricas em biotita. Os cristais orientados definem uma textura lepidoblástica à rocha Figura 114 (Foto E). Inclusões de zircão são comuns, bem como alteração para material laranja/avermelhado – possíveis óxidos e hidróxidos de ferro.

Granada: cristais xenomórficos de granulação média, relevo alto, forma arredondada e/ou irregular, incolor a levemente avermelhado. Seu caráter isotrópico é bastante distintivo (extinto sob iluminação à nicóis cruzados). Ocorre comumente associada às bandas mesocráticas ricas em biotita Figura 114 (Foto E).

Muscovita: cristais hipidiomórficos, de hábito lamelar, incolor, com cores de interferência intensas do final da 1ª ordem para início da 2ª ordem. Apresenta um traço de clivagem perfeito em seções longitudinais e extinção reta e picotada (olho de pássaro). Ocorre como mineral secundário, visto que estão comumente associados às porções de maior grau de alteração (sericitização) da rocha Figura 114 (Foto F).

Apatita: mineral acessório, hipidiomórfico, de relevo alto, granulação fina, incolor, cor de interferência cinza de 1ª ordem, ocorre de forma espaçada ao longo da lâmina.

Zircão: mineral acessório, hipidiomórfico, de granulação fina, prismático, relevo alto e incolor. Possuem extinção reta e cores de interferência de 2ª ordem. Ocorre próximo ou incluso em biotita.

5.4.18 Análise geoquímica - amostra 09, Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE

Os dados geoquímicos da amostra 09 mostram a ocorrência variada de composição química dos elementos, se destacam na amostra: Si (54,84%), Al (20,93%), K (16,25%) e o Fe (5,41%) (Tabela 19).

Tabela 19: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 08, Conceição das Crioulas, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Rb, Si, Rh, Ag, K, Ca, Te, Ba, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr, Y, Zr, Al, S
Ar, Sm

Quantitative Result

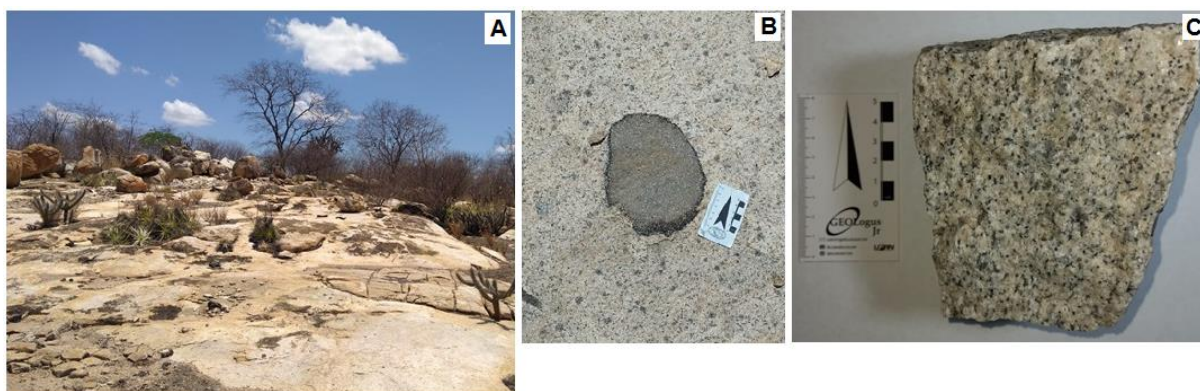
Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	54.845 %	[0.522]	Quan-FP	SiKa	0.9925
Al	20.935 %	[0.631]	Quan-FP	AlKa	0.0441
K	16.255 %	[0.083]	Quan-FP	K Ka	3.3481
Fe	5.413 %	[0.036]	Quan-FP	FeKa	35.0198
Ca	0.846 %	[0.008]	Quan-FP	CaKa	0.2398
Ba	0.686 %	[0.093]	Quan-FP	BaLa	0.4161
Ti	0.425 %	[0.031]	Quan-FP	TiKa	0.7754
S	0.207 %	[0.026]	Quan-FP	S Ka	0.0188
Rb	0.129 %	[0.003]	Quan-FP	RbKa	3.8638
Mn	0.077 %	[0.010]	Quan-FP	MnKa	0.3669
Zr	0.055 %	[0.003]	Quan-FP	ZrKa	2.1284
Ag	0.050 %	[0.007]	Quan-FP	AgKa	0.8182
Zn	0.027 %	[0.004]	Quan-FP	ZnKa	0.3526
Y	0.027 %	[0.003]	Quan-FP	Y Ka	0.9605
Sr	0.025 %	[0.002]	Quan-FP	SrKa	0.8361

Fonte: O autor, 2022.

5.4.19 Análise macroscópica amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE

A litologia do embasamento da depressão fechada denominada Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro (Figura 116), foi definida como ígnea do tipo quartzo sienito, por meio da análise *in situ*. A rocha apresenta cor clara, granulação de média a grossa, textura holocristalina, fanerítica e inequigranular (Figura 115).

Figura 115: Aspectos da rocha na Lagoa Uri de Cima, em Salgueiro – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2020.

Figura 116: Local de coleta amostra 10, Sítio Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE.



Fonte: Google Earth Pro, 2022

5.4.20 Análise microscópica, amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE

Sua composição é dominada por cristais de minerais félsicos majoritariamente grossos (>2 mm), como feldspato potássico, plagioclásio e quartzo (tabela 20). As principais fases máficas são clinopiroxênio (aegirina-augita) e anfibólio (hornblenda). Biotita, titanita, epidoto e zircão compõem as fases minerais acessórias. Diversos processos de alteração são observados nos feldspatos alcalinos (alteração para argilominerais e/ou sericitização) e nos minerais máficos (uralitização – alteração do piroxênio para anfibólio). Registros de deformação incipiente são observados em cristais de quartzo com extinção ondulante e formação de subgrãos, além de algumas escassas evidências de recristalização nas bordas de feldspato potássico.

Feldspato potássico: cristais anédricos a subédricos, de granulação média a grossa, incolor e de cor de interferência cinza claro a cinza escuro de 1ª ordem. Alguns cristais apresentam geminação simples (carlsbad). Muito frequentemente apresenta pertitas (exsolução de lamelas de plagioclásio dentro do feldspato potássico), com textura de pertita em chamas Figura 117 (Foto A). Alteração incipiente para material de granulação fina (argilominerais e/ou sericita) pode ser observada de forma uniforme ou seguindo a orientação das lamelas de exsolução (Foto B). Inclusões de plagioclásio são comuns. Alguns poucos cristais apresentam recristalização nas bordas.

Plagioclásio: cristais subédricos a anédricos, de granulação média a grossa, incolor, de cor de interferência cinza de 1ª ordem. Seções prismáticas alongadas são comuns e caracteristicamente apresentam geminação polissintética (lei da albita), com contatos retos a curvilíneos com demais minerais. Por vezes, é possível observar alteração incipiente de forma uniforme em todo cristal ou ao longo dos planos de geminação para material de granulação fina (argilominerais e/ou sericita). Intercrescimento a outros cristais de feldspato alcalino é comum (Foto C). Alguns cristais apresentam dois traços de clivagem ortogonais entre si de forma sutil – a clivagem se torna mais evidente em cristais mais próximos à borda da lâmina.

Tabela 20: Composição modal estimada da amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE.

Mineral	%
Feldspato potássico	± 52
Plagioclásio	± 30
Quartzo	± 11
Clinopiroxênio	± 5
Anfibólio	± 2
Biotita	< 1
Titanita	< 1
Epidoto	< 1
Zircão	< 1

Fonte: O autor, 2022.

Quartzo: cristais anédricos, de granulação média a grossa, incolor, por vezes fraturado (fraturas irregulares). A cor de interferência é sutilmente mais elevada do que os feldspatos, variando entre cinza claro e amarelo pálido de 1ª ordem. Apresentam extinção ondulante (Foto D) com formação de subgrãos, indicando processo de deformação dúctil incipiente.

Clinopiroxênio (aegirina-augita): cristais subédricos a euédricos, de granulação majoritariamente média, extinção inclinada, pleocroísmo forte, com cores de pleocroísmo entre o verde intenso verde claro e verde amarelado. Seções prismáticas alongadas são comuns, porém, seções basais de terminações quadradas com dois traços de clivagem ortogonais entre si também podem ser observadas (Foto E). As cores de interferência estão comumente na faixa das cores de 2ª ordem. Confundem-se facilmente à cristais de anfibólio, mas podem ser distinguidos pelo ângulo de ~90° entre os traços de clivagem em seções com

dois traços, ou pelo sinal de alongação negativo em seções longitudinais (raio rápido). Alguns cristais demonstram processo de alteração para anfibólio (uralitização), ou alteração para material de granulação fina e cor laranja-avermelhada.

Anfibólio (hornblenda): cristais subédricos, de granulação média, sob a forma de prismas alongados ou seções com terminação em cunha, pleocroísmo forte, com cores de pleocroísmo variando entre verde escuro, verde grama e verde amarronzado. A cor de interferência está entre o fim da 1ª ordem e início da 2ª ordem, mas pode ser mascarada pela cor intensa do mineral. Seções longitudinais apresentam um traço de clivagem, enquanto seções próximas à seção basal apresentam dois traços de clivagem com ângulos de 56° e 124° entre si (Foto F). Possui sinal de alongação positivo e pode ocorrer em associação com clinopiroxênio, como resultado do processo de uralitização (alteração de piroxênio para anfibólio).

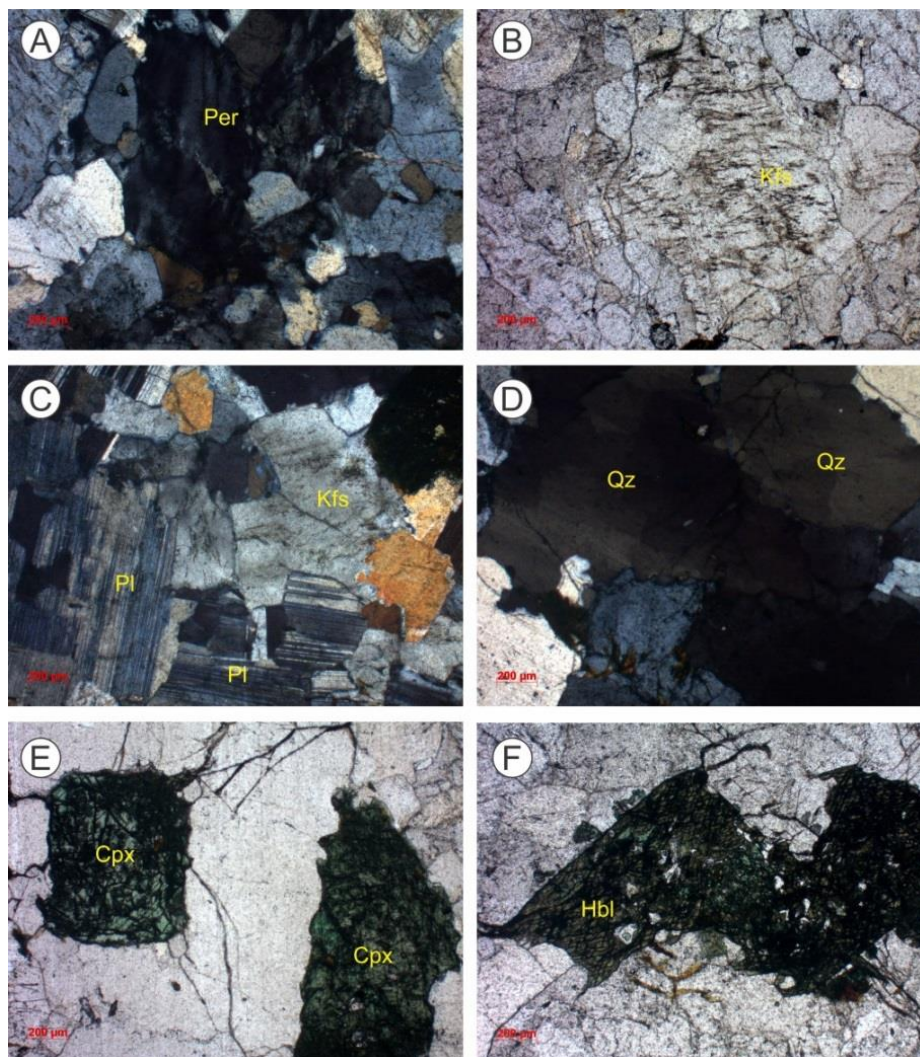
Biotita: cristais subédricos de hábito lamelar, pleocroísmo forte, com cores de pleocroísmo entre marrom escuro e amarelo pálido. Clivagem perfeita em seções longitudinais e extinção reta e picotada (olho de pássaro) são características distintivas. Ocorre comumente associada aos cristais de anfibólio.

Titanita: cristais euédricos, de relevo alto, cor amarronzada, hábito losangular (com terminações em cunha) e birrefringência elevada. Cor de interferência mascarada pela cor do mineral.

Epidoto: cristais subédricos, de cor verde pálida e relevo alto, cores de interferência intensas de 2ª ordem. Ocorre associado a cristais de anfibólio e biotita.

Zircão: cristais euédricos, diminutos, incolor, de relevo alto e cores de interferência intensas de 2ª ordem. Possuem extinção reta e apresentam-se sob a forma de prismas com terminações piramidais.

Figura 117: Fotomicrografia da amostra 10, Lagoa Uri de Cima, Salguiero – PE.



AMOSTRA A10LU. (A) Feldspato potássico pertítico com textura de pertita em chamas – NC. (B) Cristal de feldspato potássico alterado para argilominerais. Alteração se encontra ao longo das lamelas de exsolução – NP. (C) Cristais subédricos de plagioclásio com contatos retos e curvilíneos entre si e a outros cristais de feldspato – NC. (D) Extinção ondulante em cristais de quartzo anédricos – NC. (E) Clinopiroxênio (aegirina-augita) em basal (quadrada) com dois traços de clivagem ortogonais (90°) entre si – NP. (F) Cristal de anfibólio (hornblenda) com dois traços de clivagem com ângulos de 56° e 124° – NP. Cpx – clinopiroxênio; Hbl – hornblenda; Kfs – feldspato potássico; Per – pertita; Pl – plagioclásio; Qz – quartzo. NP – nicóis paralelos; NC – nicóis cruzados.

5.4.21 Análise geoquímica - amostra 10, Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, Salgueiro – PE

Em termos geoquímicos a amostra aparece com um grande percentual de Si (51,1%), Al (24,1%) e K (12,9%). O ferro (Fe) aparece com um percentual relativamente pequeno de 4,3% e o cálcio (Ca) com 3,3% (tabela 21).

Tabela 21: Resultados quantitativos e qualitativos dos principais elementos químicos da amostra 10, Lagoa Uri de Cima, com base em análise de EDX.

Qualitative Result

Element: Rb, Rh, K, Ca, Te, Ba, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr, Zr, Ag, Al, Si, Pr

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
Si	51.105 %	[0.504]	Quan-FP	SiKa	1.0682
Al	24.184 %	[0.747]	Quan-FP	AlKa	0.0603
K	12.971 %	[0.071]	Quan-FP	K Ka	3.3129
Fe	4.317 %	[0.035]	Quan-FP	FeKa	33.1323
Ca	3.328 %	[0.027]	Quan-FP	CaKa	1.2164
Ba	2.397 %	[0.059]	Quan-FP	BaLa	1.7930
Sr	0.991 %	[0.007]	Quan-FP	SrKa	39.4535
Ti	0.426 %	[0.040]	Quan-FP	TiKa	0.9592
Mn	0.145 %	[0.011]	Quan-FP	MnKa	0.8224
Ag	0.066 %	[0.008]	Quan-FP	AgKa	1.2345
Rb	0.048 %	[0.003]	Quan-FP	RbKa	1.7224
Zn	0.022 %	[0.004]	Quan-FP	ZnKa	0.3558

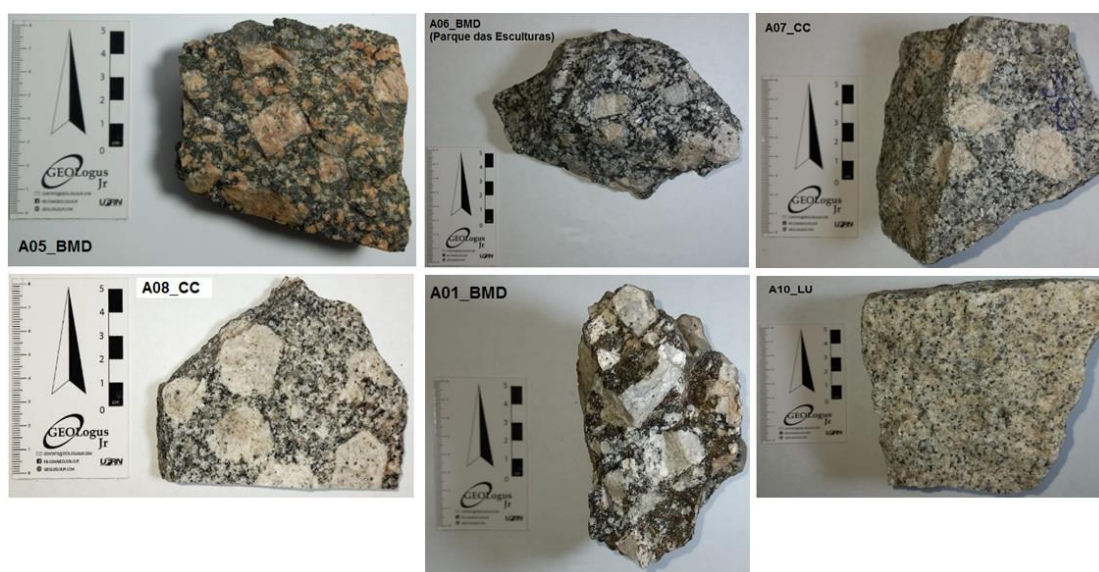
Fonte: O autor, 2022.

5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PETROGRAFIA, MINERALOGIA E GEOQUIMICA DAS AMOSTRAS DE ROCHAS DO EMBASAMENTO

As rochas das áreas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa guardam entre si muitas semelhanças, tanto no que se refere aos aspectos macroscópicos, como também microscópico e geoquímico. Tais semelhanças se expressam em suas características externas, observáveis nos afloramentos e amostras de mão. Vale ressaltar que as amostras em geral apresentam uma composição mineralógica muito similar aos granitoides.

Para ressaltar ainda mais as semelhanças existentes entre as rochas do embasamento sobre as quais estão dispostas as marmitas de dissolução e outras feições graníticas nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro, evidencia-se algumas características comuns. Elas apresentam coloração clara, em virtude do grande percentual de minerais félsicos, como os Feldspatos Alcalinos, Plagioclásio e Quartzo, representando, em média, cerca de 75% do volume das matrizes rochosas de todas as dez amostras estudadas. Estes minerais apresentam grandes dimensões, se destacando na matriz. Eles podem chegar a 8 cm de diâmetro, aspectos que é tomando como referência para determinar o tipo de textura (Figura 118).

Figura 118: Aspectos texturais das amostras de mão coletadas em diferentes localidades nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro – PE.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

Tomando como base apenas as imagens apresentadas acima, é possível perceber que em cinco delas os cristais de feldspatos saltam aos olhos, em virtude de sua dimensão. Estes megacristais determinam o caráter porfirítico destas rochas, sendo que a amostra coletada na Logoa do Uri é uma exceção, já que apresenta textura fanerítica, sem grande destaque, em nível macroscópico, para o feldspato ou outro mineral félsico. No mais, pode-se afirmar que estas rochas são ígneas, do grupo dos granitoides, com textura grossa e cor clara.

Ainda com relação aos minerais félsicos como o Feldspato Alcalino, Quartzo e Plagiocásio, vale salientar que mesmo estes sendo resistentes ao intemperismo, vão sofrendo com vários fenômenos em afloramento e em microescala, que implicam na ruptura ou deformação e geram estruturas que só são identificadas por meio da análise de seções delgadas das rochas, como situações de recristalização, migração da borda de grãos, intercrescimento, microfissuras, formação de pertitas, lamelas, sericitização, argilização, processos que as atingem, de forma proporcional já que as rochas apresentam elevada participação destes minerais, que determinam a coloração félsica das rochas do embasamento, sobre o qual restam as marmitas e outras feições graníticas investigadas em Brejo da Madre de Deus e Sagueiro.

Para reforçar a ideia proposta acima, Bigarella (1994) afirma que rochas mais finamente cristalizadas são, mais resistentes aos processos intempéricos, em comparação aos materiais litoógicos de granulação mais grosseira, mesmo que tenham a mesma composição mineralógica e sob a ação de regimes climáticos análogos. Neste sentido, as rochas das áreas de estudo refletem bem esse enunciado. Ainda sobre as características comuns entre as rochas

analisadas, vale ressaltar a grande participação da biotita em suas composições. Este mineral aparece nas amostras numa média de 7,7%, percentual relevante em se tratando de um mineral máfico, dominado por fases cristalinas félsicas.

A biotita é um mineral que tende a alterar-se mais rapidamente do que outros minerais comuns da crosta, sendo os primeiros a serem alterados em rochas graníticas, de acordo com a série de Goldich, que define a estabilidade dos minerais mais comuns frente ao intemperismo, comparada com a série de cristalização magmática de Bowen (TEIXEIRA et al., 2000). Em rochas graníticas, a biotita seria a primeira espécie mineral a sofrer alteração.

A transformação deste mineral, via intemperismo, produz uma série de novos minerais (secundários) que em muitos casos, ocupam mais espaço do que o mineral original na matriz rochosa, a exemplo da clorita, ou mesmo por meio de deformações como nos *knickbands*. O termo *knickbands* é aplicável para deformações que ocorrem em cristais submetidos à tensão metamórfica, deformando-se em knicks bem visíveis, principalmente minerais filitosos como a biotita, ou por suas geminações polissintéticas deformadas, como nos plagioclásios e geminação xadrez no Feldspato potássico, ou extinção ondulante nos quartzos. A tabela 22 traz dados referentes aos elementos químicos presentes na composição de cada da amostra de rocha do embasamento

Tabela 22: Elementos químicos mais abundantes em 5 amostras selecionadas (ABMD_01, ABMD_02, ACC_07, ACC_09 e ALU_10), provenientes das três investigações, nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro PE.

GEOQUÍMICA COMPARADA DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS QUÍMICOS NAS AMOSTRAS DE BREJO DA MADRE DE DEUS E SALGUEIRO – PE, AFERIDOS POR EDX (em %)

AMOSTRAS	Si	Fe	Al	K	Ca
ABMD_01	37,66%	19,50%	22,15%	4,88%	9,97%
ABMD_02	57,54%	2,55%	19,52%	15,18%	3,27%
ACC_07	51,58%	3,35%	23,34%	16,93%	3,41%
ACC_08	53,57%	5,69%	21,51%	12,06%	5,32%
ALU_10	51,10%	4,31%	24,18%	12,97%	3,32%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A tabela sintetiza os principais elementos químicos presentes nas estruturas dos minerais constituintes das rochas. Estes elementos químicos são compreendidos como

catalizadores, uma vez que se alteram com fenômenos hidrotermais, hidrólise, hidratação ou mesmo a carbonatação, por influência do CO₂, precipitada junto com a água atmosférica.

Os elementos mais abundantes são desde as classes de metais alcalinos, alcalinos terrosos a não-metais. Entretanto a presença mais relevante é a dos metais de transição, que por suas propriedades químicas (forte potencial de ionização) e físicas favorecem a reação destes metais com os minerais constituintes das rochas que formam o embasamento que estrutura as paisagens graníticas em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro

Também vale destacar os processos internos que ocorreram em diferentes momentos da história de evolução da Província Borborema; processos de falhamentos de diversas naturezas e intensidades e eventos orogenéticos, marcados por magmatismo de grandes porções, que repercutiram na Zona Transversal.

A cronologia das rochas das áreas de estudo está associada às stuítes Itaporanga, Conceição, Salgueiro e Terra Nova. Estas rochas foram datadas com idades entre 1.100 – 1150 Ma de anos, grupos litológicos associados ao Evento Cariris Velho no Mesoproterozoico e formação de arcos magmáticos na região Nordeste entre 950 – 1000 Ma. Ao final do Mesoproterozoico deu-se a ocorrência de evento colisional de ampla repercussão na Região Nordeste, enquanto que entre 640 e 540 Ma antes do presente, o Ciclo Orogenético Brasileiro implicou no amalgamento da Gondwana Ocidental (MATOS, 1992a; BRITO NEVES et al., 1995)

É importante destacar ainda que os aspectos observados nas amostras de rochas coletadas em Brejo são notadamente correlacionados com os fenômenos de repercussão regional, que ao longo do Pré-Cambriano (Cariris Velho e Brasileiro) até o Cretáceo (Evento Pan-Africano). Estes foram responsáveis pela geração de um grande volume magma na Província Borborema, e possibilitaram tanto a gênese de estruturas em dobras e falhas, causadas por esforços extensionais, transcorrentes e de compressão, quanto a geração de magma graníticos, que ascenderam para níveis crustais superiores e se acumularam para formar plútons e batólitos, que constituem o embasamento das áreas investigadas.

Estes magmas ascendentes foram de diferentes litologias, mas que guardam características que somadas à influência de fatores atmosféricos, em momentos de pulsos climáticos úmidos que afetaram o passado geológico do Semiárido, permitiram que porções deste plútons estivessem à mercê da atuação do intemperismo, que se inicia em nível subaéreo em minerais perturbados pelos esforços tectônicos ou mesmo por alívio de pressão, condicionando uma morfologia do relevo onde ocorre um grande número de megaformas e

microformas graníticas (de saprolitização e meteorização/dissolução) (TWIDALE, 1979; TWIDALE & VIDAL ROMANÍ, 2005).

5.6 CLASSIFICAÇÃO DAS MARMITAS DE DISSOLUÇÃO EM BREJO DA MADRE DE DEUS E SALGUEIRO - PE

5.6.1 Classificação das marmitas de Brejo e Salgueiro – PE, com base na litologia

O modelo que será exposto nesta sessão se pautou principalmente no caráter genético das marmitas de dissolução. Este modelo levou em consideração estudos desenvolvidos em três áreas-piloto dentro do estado de Pernambuco, em dois municípios do domínio semiárido: Brejo da Madre de Deus, no Agreste, e Salgueiro, no Sertão. A classificação leva em consideração o seguinte critério: Litologia basal da marmita dos terrenos das marmitas (tabela 23). Desse modo, é possível perceber que as marmitas estão dispostas sobre substratos rochosos formados por rochas ígneas, em sua grande maioria (90%), e metamórficas (10%),

Tabela 23: classificação das rochas do embasamento das marmitas de dissolução em Brejo e Salgueiro – PE.

TIPOS DE ROCHAS DO EMBASAMENTO NAS LOCALIDADES DE OCORRÊNCIA DE MARMITAS DE DISSOLUÇÃO DO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO

AMOSTRAS/rochas	Classe	Tipo
ABMD_01	Ígnea	Granito Porfirítico
ABMD_02	Ígnea	Álcálico-feldspato granito
ABMD_03	Ígnea	Basalto
ABMD_04	Ígnea	Granito Porfirítico
ABMD_05	Ígnea	Granito Porfirítico
ABMD_06	Ígnea	Monzogranito
ACC_07	Ígnea	Monzogranito
ACC_08	Ígnea	Monzogranito
ACC_09	Metamórfica	Granada-biotita gnaiss protomilonito
ALU_10	Ígnea	Quartzo-sienito

Fonte: O autor, 2022.

Com base nos dados da tabela, verifica-se que das 10 amostras analisadas 9 delas são da classe das rochas ígneas e apenas uma se encaixa na classe das metamórficas. Em relação aos tipos, as amostras foram definidas em:

- Granito pórfiro (30%);
- Monzogranito (30%);
- Álcálico-feldspato granito (10%)
- Basalto (10%);
- Granada-biotita gnaisse protomilonito (10%)
- Quartzito-sienito (10%).

5.6.2 Classificação com base nas dimensões

A partir da análise dos dados referentes às dimensões das marmitas identificadas nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Salgueiro, no semiárido pernambucano, temos as seguintes classes: micro-marmitas, marmitas pequenas, marmitas médias, marmitas grandes, megamarmitas (Quadro 02).

Quadro 02: Tipos de marmitas com base na dimensão, em Brejo e Salgueiro – PE.

Tipo de Marmita	Dimensão (comprimento do eixo maior em metros)	Total de Ocorrência em Brejo	Total de Ocorrência em Salgueiro	Percentual em relação ao total de ocorrências
Micro-marmitas	0 – 1 metro	----	----	----
Marmitas pequenas	1 – 10 metros	7	11	15%
Marmitas Médias (stritu sensu)	10 – 50 metros	41	19	61%
Marmitas Grandes	50 – 100 metros	7	3	10%
Megamarmitas	Mais de 100 metros	3	9	12%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Com base na tabela é possível perceber que as marmitas com tamanho entre 10-50 metros, definidas como masmitas stritu sensu, são os tipos predominantes nas áreas investigadas, representando 61% das masmitas identificadas. Na Figura 119 a seguir apresentamos alguns tipos de marmitas com base nas suas dimensões aferidas em campo e por meio de geoprocessamento.

Figura 119: Tipos de marmitas de dissolução em Brejo da Madre de Deus e Salgueiro, definidos com base na dimensão das feições.

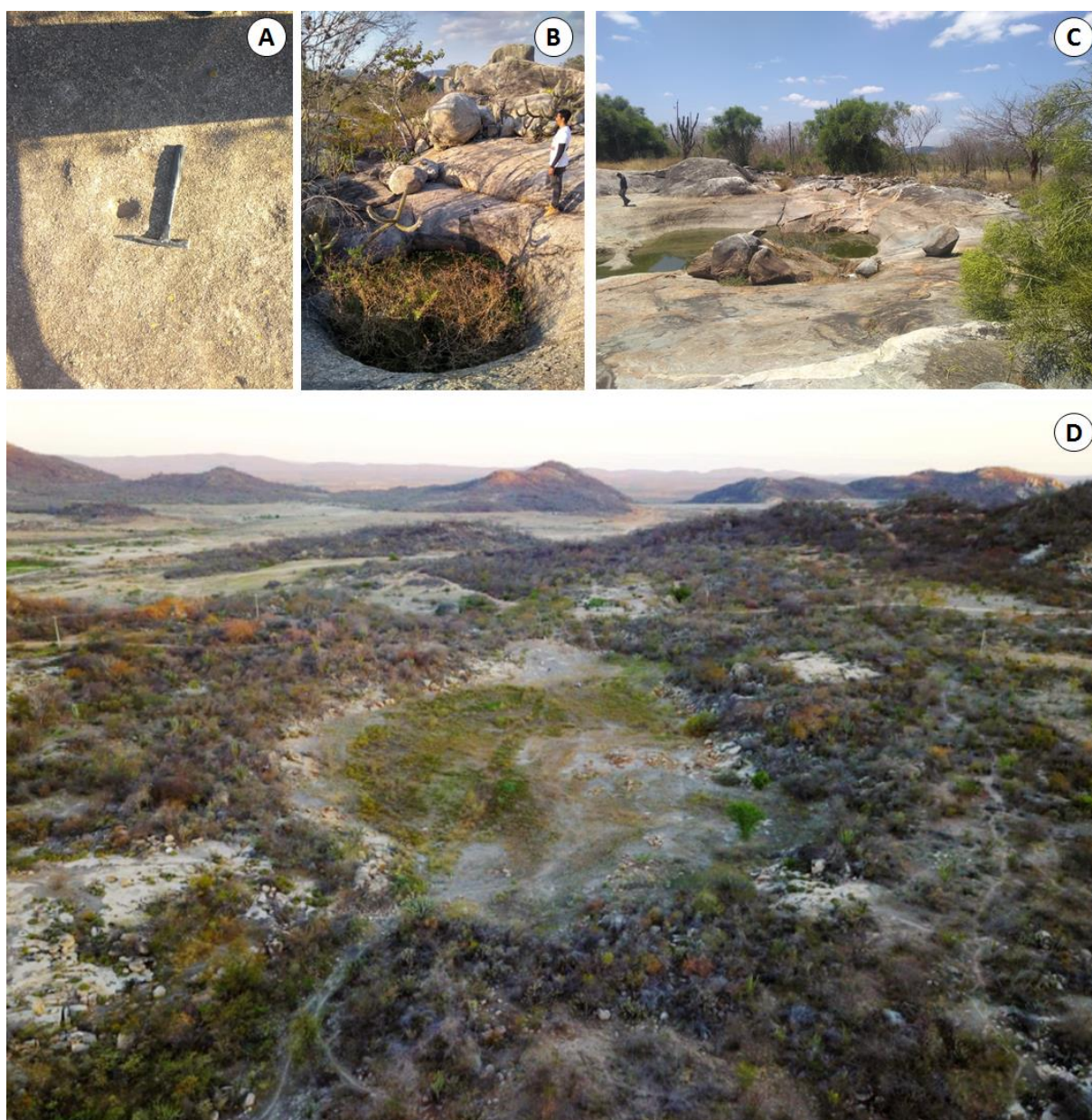


Figura: (a) micromarmita em estágio inicial formação; (b) marmita pequena; (c) marmita stritu sensu; (d) megamarmita, Lagoa Uri de Cima. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na literatura muitos autores apontam uma relação existente entre as marmitas e as rochas cristalinas que afloram à superfície. Existem diversos estudos clássicos e recentes que apontam os elementos genéricos das rochas do embasamento onde estas microformas estão distribuídas (RUBSON MAIA E FRED, DATA; TWIDALE, 1982; TWIDALE & VIDAL ROMANÍ, 2005; WALDHERR et al., 2017; SILVA, et al., 2017; CORRÊ & SILVA, 2005; MAIA et al., 2018). Todavia, não há na literatura um detalhamento das possíveis semelhanças entre as litologias dos embasamentos, suas propriedades físico-químicas (composição mineral, associações, deformação e fraturas internas) que pudessem interferir no aceleração do intemperismo para gerar marmitas. O ponto forte desta pesquisa é o fato de propor uma correlação de vários grupos de fatores para identificar elementos que favorecem a formação das marmitas na sua distribuição sobre as áreas semiáridas do estado de Pernambuco.

Com base nas análises realizadas acerca dos condicionantes fisográficos para a ocorrência de marmitas de dissolução no estado de Pernambuco, constatou-se que estas feições geomórficas ocorrem nas localidades onde a estrutura litológica do embasamento é constituída por rochas ígneas e metamórficas, sobretudo aquelas denominadas genericamente de granitóides e gnáissicas, em ambientes com condições de clima semiárido (moderado e severo).

Outrosim, as marmitas se distribuírem por espaços que foram ou ainda são afetados por processos tectônicos, onde determinadas estruturas (falhas e fraturas) se desenvolvem e mantêm zonas de interseção de planos rochosos que permitem a percolação da água em profundidade. Além de tais constatações supracitadas, foi possível verificar que embora haja uma boa quantidade de estudos realizados sobre as marmitas de dissolução no estado de Pernambuco, eles priorizam uma discussão sobre questões relacionadas ao contexto tafonômico, visto que tal objeto de estudo é tradicionalmente investigados por ramos do saber afins à geografia física e geomorfologia, tais como a geologia/paleontologia, visto que desde o século XVIII tais especialistas enveredaram por tais estudos na região.

REFERÊNCIAS

- 157 (Eds.). INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, Rio de Janeiro. Tectonic evolution of South America... Rio de Janeiro: SBS, 2000. p. 151-182.
- AB'SÁBER, A. N. (1969). Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do Nordeste Brasileiro. Bol. Geomorfologia, IGEOG-USP, SP, n 19, 38p. 1969.
- AB'SÁBER, A.N; BIGARELLA, J.J. (1961) Considerações sobre a geomorfogênese da Serra do Mar. Boletim Paranaense de Geografia n.4/5 p94-110.
- AB'SÁBER, A.N; A teoria dos refúgios: Origem e significado. Revista do Instituto florestal, Edição especial, São Paulo, março de 1992.
- ACCIOLY, A. C. de A.; SANTOS, C. A. 2010. Geologia da Folha Pesqueira, Província Borborema, NE brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 26 set. - 01 out. 2010, Belém. Resumos... Belém: SBG. Núcleo Norte.
- AGÊNCIA CONDEPE/FIDEM. (2005) Rio Ipojuca. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco, Recife (PE), 2005.
- ALMEIDA F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R. (1977). Províncias estruturais brasileiras. In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste , Campina Grande: SBG. p. 363.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth-Science Reviews, 17(1/2):1-29.
- ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. DGM, DNPM, Rio de Janeiro, Boletim n. 241, p. 1-36.
- ALVIN, G.F. 1939. Jazidos brasileiros com mamíferos fósseis. Notas Preliminares e Estudos, DNPM/DGM, v. 18, p. 8-16.
- ANDRADE, G. O. de; LINS, R. C. Introdução ao estudo dos Brejos Pernambucanos. Arquivos do Instituto de Ciências da Terra, Recife, n.2, p.21-34, 1964.
- ANDRADE, Gilberto Osório de. Gênese do relevo Nordestino; estado atual dos conhecimentos. Est. Univ., Recife, (2): 1-13, abr./set., 1968.
- ANDRADE, Manuel Correia de Oliveira. O processo de ocupacional do espaço regional do Nordeste. Recife, SUDENE, 1975. 67p. il . Inclui bibliografia.

ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. Arquivos do Instituto de Pesquisas Agronômicas, Recife, n.2, 1957.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; GUEDES, R.L.; ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.3, p.337-344, 2004.

ANGELIM, M.L.P. (1988) Educar é descobrir – um estudo observacional exploratório. Brasília. Universidade de Brasília (dissertação de mestrado), 2v.

ANTÔNIO DE OLIVEIRA, Carlos. Agricultura Convencional e Modernização dos Sistemas Agrícolas no Âmbito da Agricultura Familiar em Sítios Novos, Salgueiro - PE. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ANTÔNIO DE OLIVEIRA, Carlos. Agricultura Convencional e Modernização dos Sistemas Agrícolas no Âmbito da Agricultura Familiar em Sítios Novos, Salgueiro - PE. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ARAGÃO, J. O. R. 1998: Análise e parâmetros meteorológicos globais e oceanográficos no Pacífico e Atlântico Tropicais e a tendência climática da precipitação no norte do Nordeste do Brasil para o período chuvoso de março a junho de 1998.

ARCHANJO, C.J., Hollanda, M.H.B.M., Rodrigues S.W.O., Brito Neves, B.B. & Armstrong, R. 2008. Fabrics of pre and syntectonic granite plutons and chronology of shear zones in the Eastern Borborema Province, NE Brazil. Journal of Structural Geology, 30: 310-336.

ASNANI, C.G. 2005. Tropical Meteorology. Chapter 4. Easterly Waves. Indian Institute of Tropical Meteorology.

ASNANI, G. C., 1993, Tropical meteorology. Vol. 2, Pune, India: Noble Printers.

ASNANI, G.C. Tropical meteorology. Vols. I-II Chapter 8 - Easterly waves, Pune-India: Noble Printers, 1993, 1201p.

BARRETO, A. M. F. et al. Os depósitos de cacimbas de Pernambuco: aspectos geomorfológicos, geológicos, paleontológicos e paleoambientais. In: XLII Congresso Brasileiro de Geologia. Minas Gerais, Anais, 1-2, 2004.

BASTOS, F.H., LIMA, D.L.S., CORDEIRO, A.M.N., MAIA, R.P., 2021. Relevos graníticos do nordeste brasileiro: uma proposta taxonômica. In Junior, O.A.C., Gomes, M.C.V, Guimarães, R.F., Gomes, R.A.T. (Ed.). Revisões de literatura da Geomorfologia brasileira (pp. 737- 762). São Paulo: União da geomorfologia brasileira.

BERRY, F. A.; BOLLAY, E.; BEERS, N. R. Handbook of Meteorology. New York: McGraw-Hill Book, 1945, 1068p.

BEZERRA, F. H. R.; NEVES, B. B. B.; CORREA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology*. v. 01: 555-582, 2008.

BIGARELLA, J. J. Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. Vol. I. Santa Catarina: Editora da UFPR, 1994.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. & SILVA, J. X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia*, 16 e 17: 85–116, 1965a.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. & SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia*, 16 e 17: 117–151, 1965b.

BIGARELLA, J. J.; SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia*, Curitiba, v. 16/17, p. 17 – 51, 1965.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. Geologia, tectônicas e recursos minerais do Brasil, CPRM. Brasília, 2003.

BORSATO, Vctor da Assunção; MENDONÇA, F. A.. A espacialização dos sistemas atmosféricos e a análise rítmica para o centro-sul do Brasil. *GEOUSP: espaço e tempo*, v. 19, p. 585-604, 2015.

BRANNER, J.C. 1902. On the occurrence of fossil remains of mammals in the interior of the States of Pernambuco and Alagoas, Brazil. *American Journal of Science*, 13: 133-137.

BRANNER, J.C. 1915. *Geologia Elementar*. Rio de Janeiro, Livraria Francisco Alves, 404p.
BRASIL. SUDENE/DPG/PRN/HME. Dados pluviométricos mensais do Nordeste - Estado de Pernambuco. Recife, 1990.

BRILHANTE, J., Silva, M. A., Dantas, A. R. (2017). Magmatismo Ediacarano-Cambriano da Região das mineralizações de W de Currais Novos (RN), Domínio Rio Piranhas-Seridó. XXVII Simpósio de Geologia do Nordeste. Resumos. João Pessoa: SBG.

BRITO NEVES, B. B. 1981. O Ciclo Brasileiro no Nordeste. In : SIMP. GEOL. NORDESTE, 10. Recife, 1981. Atas... Recife, SBG/Núcleo Nordeste, p.329-336.

Brito Neves, B. B. de, Van Schmus, W. R.; Santos, E. J.; Campos Neto, M. C.; Kozuch, M. 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema: Integração de dados, implicações e perspectivas. *Rev. Bras. Geoc.*, 25 (4), 279-296.

BRITO NEVES, B. B., Santos, E. J., Van Schmus, W. R. (2000). Tectonic history of the Borborema Province. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (Eds.),

Tectonic Evolution of South America. (v.1, 151-182). Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress.

BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, E. J. CAMPOS NETO, M. C. KOZUCH, M. – O evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. Ver. Bras. Geoc. V. 24, n. 4, p. 279-296. 1995.

BRITO NEVES, B.B. de - Regionalizacao geotectonics do Pré-Cambriano Nordeste. Tese: Inst. Geociencias, USP, Sao Paulo, 1975.

BRITO NEVES, B.B., Fuck, R.A., Pimentel, M. M. (2014). The Brasiliano Collage in South America: a review. Brazilian Journal of Geology, vol. 44, n.3., p. 1-34.

BUCHER, Kurt, FREY, Martin. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. 6 ed., Springer-Verlag, CABRAL, C. J. Caracterização paleoclimática e paleoambiental do campo de dunas de Petrolina em Pernambuco: um subsídio para a reconstituição do submédio São Francisco. 153 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014.

CAETANO, J. 2011. Análise das ondas de leste sobre a costa leste do nordeste do Brasil para o período entre 1999-2009. Dissertação do Mestrado. Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMNUFRJ).

CALDASSO, A.L.S.; ENNES, E.R.; GRAZIA, C.A. Geologia da região sudeste do Estado do Piauí - Projeto Sudeste do Piauí I: relatório final de geologia, Brasília, DNPM (Série Geologia 21; Seção Geologia Básica 15), 1973.

Capibaribe. Tomo I. Diagnóstico hidroambiental. Volume 01/03 - Recursos Hídricos, Projetos Técnicos. Recife, 2010a. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/down/PHA_Capibaribe_TOMO_I_VOL_1_Diagnostico_21.07.11.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2017.

OLIVEIRA, Carlos Antônio de; Agricultura Convencional e Modernização nos Sistemas Agrícolas no Âmbito da Agricultura Familiar em Sítios Novos, Salgueiro – PE. Recife, 2008. Dissertação de mestrado, PPGEIO – UFPE.

CASAL, M.A. 1817a. Corografia brazilica, ou Relação historico-geografica do Reino do Brazil. Rio de Janeiro, Impressão Régia, 182p.

CASAL, M.A. 1817b. Corografia brazilica, ou Relação historico-geografica do Reino do Brazil. Rio de Janeiro, Impressão Régia, 158p.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da. Tempo e clima no Brasil. [S.l: s.n.], 2009.

CAVALCANTI, L. C. S.; CORREA, A.C.B.. Superfícies morfoestratigráficas mesorregionais na área de Paudalho - Pernambuco. Revista de Geografia (Recife), v. 25, p. 21-34, 2008.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Modelagem de Sistemas Ambientais. 2ª edição, São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2002.

COMET-Program e University Corporation of Atmospheric Research. 2012-2014. Ondas Tropicais de Leste. (https://www.meted.ucar.edu/tropical/synoptic/Afr_E_Waves_es/navmenu.php?tab=1&page=1.0.0&type=flash).

CONDEPE/FIDEM . AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca. Recife, 2005. 64 p. (Série Bacias. Hidrográficas de Pernambuco, 1).

CORRÊA, A. C. B. & SILVA, D. G. Análise geomorfológica e morfoestratigráfica dos modelados deposicionais da área de Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE: um subsídio para a reconstrução paleoambiental. CLIO Série Arqueológica. 22, p. 28- 44, 2005.

COSTA, L. R. F.; MAIA, R. P.; Barreto, L. L.; CLAUDINO-SALES, V. C. Geomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro: uma proposta de classificação. Revista Brasileira de Geomorfologia , v. 21, p. 185-208, 2020.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Salgueiro, estado de Pernambuco / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Manoel Julio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Salgueiro. Recife, 2005.

CRUZ, Raquel Souza. Alteração hidrotermal e potencial metalogenético do vulcanoplutonismo paleoproterozoico da região de São Félix do Xingu (PA), Província Mineral de Carajás. Orientador: Raimundo Netuno Nobre Villas. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

DALTON DE SOUZA, J., Fernandes Filho, J., Guimarães, J. T., Lopes, J. N. 1979. Projeto Colomi: Geologia da Região do Médio São Francisco. Relatório Final. Salvador: CPRM, 3 v.

DANA J.D., HURLBUT C. JR.. Manual de Mineralogia. 1 ed.. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1978 , 643p.

DANA, J. D.; HURLBUT, C. S. Jr. Manual de mineralogia. Livros Técnicos e Científicos Ed., 3ª Edição. 1981. 996 p.

DELGADO, I. M., Souza, J. D., Silva, L. C., Silveira Filho, N. C., Santos R. A., Pedreira, A. J., Guimarães, J. T., Angelim, L. A. A., Vasconcelos, A. M., Gomes, I. P., Lacerda Filho, J. V., Valente, R. C., Perrota, M. M. & Heineck, C. A. 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M. e Gonçalves, J. H. (Eds), Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília, Brasil, 628 pp.

DIDIER, J. and BARBARIN, B. 1991. Commingling of contrasted magmas and generation of mafic enclaves in granitic rocks. In Enclaves and Granite Petrology. eds. Amsterdam: Elsevier, pp.393-402.

DOMINGUES, Alfredo José Porto — Contribuição ao estudo da geografia da região sudoeste da Bahia. In Revista Brasileira de Geografia. Ano IX, n.º 2, 1947, pp. 206, 214-216.

DRUMOND, M.A.; KIILL, L.H.P.; LIMA, P.C.F.; OLIVEIRA, M.C.; OLIVEIRA, V.R.; ALBUQUERQUE, S.G. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: Seminário para avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga; 2000; Petrolina. Petrolina: EMBRAPA:CPATSA:UFPE: Conservation International do Brasil; 2000. Econômica. México. 1948. 479p.

EMBRAPA, 2002; site <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>, acesso em 30 de novembro de 2019. PROCURAR ESTA REFERÊNCIA. Solos em salgueiro – PE.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

EMBRAPA; GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária. Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE. Pernambuco: Documentos nº 35. CD-ROM, 2001.

FERNANDES, A.C.S., XIMENES, L.C. & ANTUNES, M.T. 2013a. Na Ribeira do Acaraú João Batista de Azevedo Coutinho de Montaury e a descoberta documentada de megafauna no Ceará em 1784. Filosofia e História da Biologia, 8(1): 21-37.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. Revista Brasileira de Climatologia,, v. 1, n. 1, p. 15 – 28, Dezembro 2005.

FISRWG. Stream corridor restoration: principles, processes and practices. Estados Unidos: The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998. 637 p.

FRAZÃO, K.M.R.; CISNEROS, J.C.; SILVA, A.S.N.F. Primeiras abordagens sobre o GAN, M.A; KOUSKY, V.E, 1982. Estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. São José dos Campos, INPE,. (INPE -2579-PRE/227).

Gava, A., Nascimento, D. A., Vidal, J. L. B. 1983. Geologia. In: Projeto RADAM BRASIL: folha SC.24/25, Aracaju-Recife. Rio de Janeiro (Levantamentos de Recursos Naturais, 30). 852 p.

Gestão e educação socioambiental na Bacia do Capibaribe / Ricardo Augusto Pessoa Braga... [et al.]. -- 1. ed. -- Recife : Ed. Clã, 2015. 140 p.

GOMES DA SILVA, Danielle; Carlos de Barros Corrêa, Antonio. Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco. 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

GOMES, H. A. & SANTOS, E. J. (org). Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco. Recife: CPRM, 2001. 214 p.

HARTT, C.F. 1870. Geology and Physical Geography of Brazil. Boston, Fields, Osgood & CO, 620p.

JARDIM DE SÁ, E. F. – A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira Pan-Africana. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília. 803 p. 1994.

JARDIM DE SÁ, E. F. (1994). A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan Africana. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências – UnB.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F.; SILVA, H. J.. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE EXCEÇÃO DO BREJO DA MADRE DE DEUS - PE. CIÊNCIA GEOGRÁFICA, v. XXIII, p. 758-772, 2019.

KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. Rev. Bras. Geogr., Rio de Janeiro. 18(2): 147-266, 1956.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Bárbara. Manual de ciência dos minerais - tradução e revisão técnica: Rualdo Menegat. 23 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 716 p.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura

LAGES, Geysson Almeida; MARINHO, Marcelo de Souza. Carta geológica Boqueirão. Folha SB.24-Z-DII. Estado da Paraíba.. Recife: CPRM, 2012, 1 mapa, colorido, 94,03 x 70,32 cm. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – PGB.

LINS, Carlos Alberto Cavalcanti Diagnóstico atual dos setores mineral, hídrico e de riscos geológicos. Agreste Pernambucano e Fronteiras Estado de Pernambuco / Carlos Alberto CAVALCANTI Lins... [et al.]. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil / CONIAPE – Consorcio Público Intermunicipal do Agreste Pernambucano e Fronteiras, 2016.

LIRA, D. R. de. Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do Riacho do Pontal e GI-8 no Sub-Médio São Francisco. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2014, 234 p.

LYRA, A. L. R. T. A condição de “Brejo”: Efeito do relevo na vegetação de duas áreas no município do Brejo da Madre de Deus (Pernambuco). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 1982. 106p.

MACEDO, A. O. Estudo geoarqueológico dos níveis arenoso e de cascalheira cimentada por concreção carbonática do Sítio Lagoa Uri de Cima, Salgueiro-PE. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas - CFCH. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.

MACEDO, A. O. Estudo geoarqueológico dos níveis arenoso e de cascalheira cimentada por concreção carbonática do Sítio Lagoa Uri de Cima, Salgueiro-PE. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 225. 2016.

MACEDO,A.O.;FELICE,G.D.;PESSIS,A-M. Microescavação de Amostras de Calcrete do Sítio Lagoa Uri de Cima-PE: Um Estudo Geoarqueológico, 2017.

MAIA, R. P., & Nascimento, M. A. L. do. (2018). RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO. Revista Brasileira De Geomorfologia, 19(2).

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H.; CLAUDINO-SALES, V. C. Geomorfologia do Nordeste: Concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento. Revista de Geografia (Recife), v. 27, p. -6--19. 2010.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. (2009) Neotectônica, Geomorfologia e Sistemas Fluviais: Uma análise preliminar do contexto Nordestino. Submetido e aceito para Revista Brasileira de Geomorfologia.

MANUAL técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p. (Manuais técnicos em Geociências, n. 1).

MARINHO, M. S. . Evolução Estrutural e Aspectos Petrológicos das Ocorrências Auríferas de Serrita e Parnamirim, Pernambuco. Ouro Preto: UFOP, 2012 (Dissertação de Mestrado).
Medeiros, V. C., Cavalcante, R., Cunha, A. L. C., Costa, A. P., Sá, J. M., Silveira, F. V.,

MEDEIROS, V.C.; Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú, Domínio da Zona Transversal, NE do Brasil. Natal. Tese de Doutorado, PPGG/UFRN, p. 200. 2004.

MEIRA, S. A.; BRASIL, J. ; FEITOSA, G. D.; PAIXÃO, G. N. da ; ALVES, R. R. . Potencialidades do Patrimônio Geomorfológico da Bacia do Córrego do Gentil. Revista de Geografia (Recife), v. Es. 3, p. 208-219, 2010.

MELO, A. B. C. de. Previsibilidade da precipitação na Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil, durante a estação chuvosa, em função do comportamento diário das chuvas na pré-estação. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Campina Grande-PB. 1997. 100 p.

MELO, S. C. Estrutura, petrologia e geocronologia do batólito Brejo da Madre de Deus (estado de Pernambuco), relações com a zona de cisalhamento Pernambuco leste, Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado em Geologia). - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2002. 118 p.

MENEZES, S.O. Rochas: manual fácil de estudo e classificação. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013, 112p.

MIGÓN, P. Granite Landscapes of the World. Oxford University Press, New York. 416 pp. 2006.

MIGÓN, Piotr. Granite landscapes of the world/Piotr Migon' .p. cm.Includes bibliographical references and index. ISBN 0-19-927368-5 (alk. paper) 1. Granite. 2. Granite outcrops. 3. Geomorphology. I. Title. QE462.G7M49 2006.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão das chuvas no Nordeste brasileiro, Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, n.1, p.1-10, 2002.

MORAES RÊGO, L.F. 1926. O Reconhecimento Geológico da parte ocidental do Estado da Bahia. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 17: 33-54.

MORAES, L.J. 1924. Serras e Montanhas do Nordeste. Rio de Janeiro, Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas, 120p.

MORAES, L.J. 1928. Estudos Geológicos no Estado de Pernambuco. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 32:1-98.

MUTZENBERG, D.; Corrêa, A.C.B. de; Cisneiros, D.; Asón Vidal, I.; Daltrini Felice, G.; Gomes da Silva, D.; Khoury, H. & Libonati, R. 2013. Sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima: cronoestratigrafia de eventos paleoambientais no semiárido Nordeste. *Fundamentos*, 10:49–66.

NEVES, D. J. D., ALCANTARA, C. R.; SOUZA, E. P. Estudo de Caso de um Distúrbio Ondulatório de Leste sobre o Estado do Rio Grande do Norte - Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 490-505, 2016.

NEVES, S. P.; MARIANO, G. Assessing the tectonic significance of a large-scale transcurrent shear zone system: the Pernambuco lineament, northeastern Brazil. *Journal of Structural Geology*, n. 21, 1999. p. 1369-1383.

NEVES, S.P., and Vauchez, A., 1995. Successive mixing and mingling of magmas in aplutonic complex of northeast Brazil. *Lithos* 34, 275-299.

NOBRE, C. A. e Molion, 1986: *Climanálise Especial*. Edição Comemorativa de 10 anos.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B.. The climatology of droughts in Northeast Brazil and drought predction. IN: *Assessment of Climate Impacts on Agriculture in Semi-Arid*

NÓBREGA, R. S; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. *Mercator*, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 107-118, jan./ abr. 2014.

OLLIER, C.D. 1975. *Weathering*. Londres: Longman Group Ltd. 304 p. (2ª. Edição).

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE-PE). Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe. Recife, 2010. Disponível em <<http://www.srhe.pe.gov.br>>.

PERUGINI, D., POLI, G. (2012). The mixing of magmas in plutonic and volcanic environments: Analogies and differences. *Lithos*. 153, 261-277p.

PFALTZGRAFF, P. A. D. S.; ARRAES, C. E. D. S.; MIRANDA, J. L. F. D. Sensoriamento remoto e geoprocessamento na pesquisa de água subterrânea na quadrícula de Salgueiro-PE. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo: [s.n.]. 2002. p. 1-11.

PFALTZGRAFF, P. A. D. S.; ARRAES, C. E. D. S.; MIRANDA, J. L. F. D. Sensoriamento remoto e geoprocessamento na pesquisa de água subterrânea na quadrícula de Salgueiro-PE. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo: [s.n.]. 2002. p. 1-11.

Piauí. R. *Museu Arq. Etn.*, 30: 84-103, 2018.

PORPINO, K.O. & Santos, M.F.C.F. Mamíferos pleistocênicos de Lagoa do Santo, Rio Grande do Norte-Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 15, 1997. Resumos, São Pedro, UNESP, p. 116.

PORTAL BRASIL. Portal Brasil. Portal Brasil, 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/03/projeto-sao-francisco-registra-80-mil-achados-arqueologicos>>. Acesso em: janeiro de 2020.

PRADO, D. E. 1991. A critical evaluation of the floristic links between Chaco and Caatingas vegetation in South America. Ph.D. thesis, University of St. Andrews, St. Andrews, Scotland. PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H. Para Entender a Terra. Tradução: MENEGAT, R. (coord.). 4ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RAMOS, Débora Albuquerque Meira Coelho. Contribuição da análise de fitólitos para a reconstrução paleoambiental na Lagoa do Uri, semiárido de Pernambuco. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

REED, J. C. 1963 – Origin of some intermittent ponds on quartzite ridges in Western North Caroline. Bull. Geol. Soc. Amer., 74: 1183-1187.

ROBITA, S. M.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

ROCHA, H.S., 2019. Feições do relevo granítico do refúgio de vida silvestre Pedra da Andorinha, Sobral – Ceará: classificação e potencialidades geoturísticas. Dissertação (Mestrado). Fortaleza. Universidade Federal do Ceará.

ROCHA, H.S., MAIA, R.P., OLIVEIRA, V.P.V., 2019. Patrimônio Geomorfológico da Unidade de Conservação Pedra da Andorinha, Sobral - Ceará. Revista GEOUECE 8, 276-293. RODRIGUES, A.C.F.; SILVA, C.W.G.; RODRIGUES, E.S.R.; GALVÃO, S.R.S.; CALDAS, A.M. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Terra Nova – PE, 2020.

RODRIGUES, J. M. D.; LIMA, E. C.; Vanda de Claudino-Sales. Classificacao hierarquica das formas de relevo granitico da Unidade de Conservacao Refugio da Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Taparuaba, Sobral, Ceara. REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA, v. 15, p. 142-154, 2022.

RODRIGUES, W.F., 2018. Evolução Geomorfológicado Inselberg Pedra da Andorinha, Taparuaba, Sobral, Brasil. Dissertação (Mestrado). Fortaleza. Universidade Federal do Ceará. Romání, J. V. & Twidale, C. R. (1998) – Formas y Paisajes Graníticos. Universidade da Coruña, Monografías nº 55, 411p.

SALES, M.F., Mayo, S.J. & Rodal, M.J.N. 1998. Florestas serranas de Pernambuco: um checklist das plantas vasculares dos brejos de altitude. Imprensa Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SANTOS EJ & MEDEIROS VC. 1998. New insights on Grenville-age and brasiliano granitic plutonism of the Zona Transversal, Borborema Province, NE Brazil. In: Cong. Latino-Amer. Geol., 10., 1998, Buenos Aires. Actas... Buenos Aires: ASGMIA, 1998. v. 2, p. 427–432.

SANTOS EJ & MEDEIROS VC. 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the Transverse Zone, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29: 73–84.

SANTOS, C. A.; SILVA, D. G.; CORREA, A. C. B. O uso da abordagem geomorfológica como ferramenta para a compreensão da escolha de áreas de localização dos sítios pré-históricos em Fazenda Nova, Pernambuco. *CLIO. Série Arqueológica (UFPE)*, v. 1, p. 153-169, 2008.

SANTOS, E. J. 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrecionária na Província Borborema. *Cong. Bras. Geol.*, 39th, 6: 47-50. Salvador – BA.

SANTOS, E. J. dos. 1995. O complexo granítico Lagoa das Pedras: Acresção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema. USP/IG. Tese de Doutorado. 219p (inédito).

SANTOS, E. J. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrecionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996. Salvador. Anais. Salvador: SBG, 1996. v. 6, p. 47-50.

SANTOS, E. J.; NUTMAN, A. P. ; Brito Neves, B.B. . Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: implicações sobre a evolução tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo (SP), v. 4, n.1, p. 1-12, 2004.

SANTOS, E. J.;Souza Neto, J. A.; Silva, M. R. R. ; Beurlen, H. ; Cavalcanti, J.A.D.; Silva, M. G. ; Dias, V.M. ; Costa, A. F. ; Santos, L. C. M. L. ; Santos, R.B. 2014. In: Silva, M.G., Neto, M.B.R., Jost, H., Kuyumjian, R.M. (Org.). *Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras*. 1a. ed. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 1. 343-388.

SANTOS, E.J. & MEDEIROS, V.C., 1999 - Constraints From Granitic Plutonism on Proterozoic Crustal Growth of the Transverse Zone, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29 (1): 73 - 84.

SANTOS, E.J. 1998. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Carta Geológica. Escala 1:250.000 (Folha SC.24-X-A- Belém do São Francisco). Brasília, CPRM.

Santos, E.J., Oliveira, R.G. and Paiva, I.P., 1997. Terrenos no Domínio Transversal da Província Borborema: controles sobre acreção e retrabalhamento crustais ao sul do lineamento Patos. In: S.N. Nordeste (Editor), 17 Simp. Geol. Nordeste, Fortaleza, pp. 141-144.

Santos, R. A., Souza, J. D. 1988. Piranhas: Folha SC.24-Z-C-IV, Estados de Sergipe, Alagoas e Bahia. Mapas, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Brasília, DNPM. Escala 1:100.000.

SGARBI, G. N. C. Rochas sedimentares. In: SGARBI, G. N. C. (Org). Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. 2. ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: UFMG, 2012, cap. 4, p. 293-494.

SILVA FILHO, A. F., Guimarães, I. P., Lyra de Brito, M. F., Pimentel, M. M. 1997. Geochemical signatures of main Neoproterozoic late-tectonic granitoids from the Proterozoic Sergipano Belt, Brazil: significance for the Brasiliano Orogeny. *International Geology Review*, 39:639-659.

SILVA FILHO, A.F., GUIMARÃES, I.P., SCHUMUS, W.R. 2002. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas Complex, Borborema Province, NE Brazil: Nd Isotopic Data from Neoproterozoic Granitoids. *Gondwana Research*, 5 (2): 409-422.

SILVA, D. G. Evolução Paleoambiental dos Depósitos de Tanques em Fazenda, Município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco. 2007. 155p.

SILVA, D. G.; CORRÊA, A. C. B. Contribuição à interpretação geomorfológica da gênese das cacimbas de Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE, e dos seus preenchimentos sedimentares. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia. Anais de Trabalhos Completos. Santa Maria, 1-11, 2004.

SILVA, D.G.; CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; AMORIM, R. F.. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E DINÂMICA AMBIENTAL DAS MARMITAS (WEATHERING PIT) NO DISTRITO DE FAZENDA NOVA, PERNAMBUCO? NORDESTE DO BRASIL. *REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA*, v. 18, p. 349-362, 2017.

SILVA, Danielle Gomes da. Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco. 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA, Danielle Gomes da. Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco. 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA, Fabiana Marinho da. Tafonomia em tanque de Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus e sistemática dos mamíferos fósseis do Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Recife, 2013. 95 f. Tese (doutorado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências, 2013.

SILVA, V.P. Distúrbios Ondulatórios de Leste: estudo de casos que afetaram a costa leste do NEB. 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

SILVA, Victor Uchôa Ferreira da. Zoneamento ambiental como instrumento de gestão para avaliação da vulnerabilidade ao processo de desertificação: análise do Município de Salgueiro – PE. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Gestão e Políticas Ambientais. Recife, 2007.

SOUZA, Lucas Bonald Pedrosa de. Arqueologia espacial do sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima (Salgueiro, PE): um estudo da distribuição intra-sítio dos vestígios líticos / Lucas Bonald Pedrosa de Souza. – 2018.

SOUZA, Lucas Bonald Pedrosa de. Arqueologia espacial do sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima (Salgueiro, PE): um estudo da distribuição intra-sítio dos vestígios líticos / Lucas Bonald Pedrosa de Souza. – 2018.

SOUZA, Poema Isis Andrade de. Setor de turismo, desenvolvimento econômico e desigualdade de renda: um estudo para a Região Nordeste do Brasil, a partir da matriz insumoproduto inter-regional / Poema Isis Andrade de Souza. - Recife: O Autor, 2014.

SPIX, J.B.V. & MARTIUS, K.F.P.V. 1824. Travels in Brazil in the years 1817-1820. London, A. & R. Spottiswoode, 298p.

STRECKEISEN, A. L., Classification and nomenclature of igneous rocks. Final report of na inquiry. Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen, v 107, 144-240.1967.

STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. Earth-Science Reviews Vol. 12, p.1-33, 1976.

THOMAS, Michael F. Geomorphology in the Tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd., 1994.

TORRES, Fernanda Soares de Miranda. Geodiversidade do estado de Pernambuco / Organização Fernanda Soares de Miranda Torres [e] Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff – Recife : CPRM, 2014.

TROMPETTE, R. 1994. Geology of Gondwana (2000-500 Ma). Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa. Rotterdam: Balkema, 350p.

TWIDALE, C. R. (1982) - Granite landforms. Elsevier, Amsterdam, 372p.

UVO, C. R. B. e Nobre, C. A., 1989: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanalise*, Vol. 4, número 07, 34 – 40.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borboreme province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 8, p. 267-288, 1995.

VILLELA, S. M., & MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

XIMENES, C.L. 2003. Proposta metodológica para um programa de micro-reservatórios alternativos de água nos sertões semi-áridos brasileiros, associado ao resgate de fósseis. Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Dissertação de Mestrado, 146 p.

XIMENES, C.L., 2009. Tanques Fossilíferos de Itapipoca, CE: Bebedouros e cemitérios de megafauna pré-histórica. In: Winge, M., Schobbenhaus, C., Souza, C.R.G., Fernandes, A.C.S.