

Universidade Federal do Rio de Janeiro

SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E ÍNDICES DE GEODIVERSIDADE COMO SUPORTE
DA GEOCONSERVAÇÃO NO GEOPARQUE SERIDÓ

Matheus Lisboa Nobre da Silva

2018

MUSEU NACIONAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E ÍNDICES DE GEODIVERSIDADE COMO SUPORTE
DA GEOCONSERVAÇÃO NO GEOPARQUE SERIDÓ

Matheus Lisboa Nobre da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências – Patrimônio Geopaleontológico, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientadores:

Prof^ª. Dr^ª. Kátia Leite Mansur

Prof. Dr. Marcos Antonio L. do Nascimento

Rio de Janeiro
Setembro de 2018

**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E ÍNDICES DE GEODIVERSIDADE
COMO SUPORTE DA GEOCONSERVAÇÃO NO GEOPARQUE SERIDÓ.**

Matheus Lisboa Nobre da Silva

Orientadora Kátia Leite Mansur

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Geociências - Patrimônio Geopaleontológico, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geociências.

Aprovada por:


Presidente, Dr^a Kátia Leite Mansur


Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos


Dra. Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano

Rio de Janeiro
Setembro de 2018

Silva, Matheus Lisboa Nobre da.

Serviços Ecosistêmicos e Índices de Geodiversidade como Suporte da Geoconservação no Geoparque Seridó / Matheus Lisboa Nobre da Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/MN, 2018.

Xi, 177 f.: il.; 31cm.

Orientadores: Kátia Leite Mansur; Marcos Antonio Leite do Nascimento.

Dissertação – UFRJ/MN/Programa de Pós-Graduação em Geociências – Patrimônio Geopaleontológico, 2018.

Referências Bibliográficas: f. 168-177.

1. Serviços Ecosistêmicos. 2. Geodiversidade. 3. Geoconservação. 4. Geoparque Seridó. I. Mansur, Kátia Leite; Nascimento, Marcos Antonio Leite do. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional. III. Título.

Para meus avós,
Evandro e Lourdinha (*in memoriam*), Janete e Pedro.

AGRADECIMENTOS

Nada se faz sozinho, nem é possível atingir grandes metas sem apoio. Por isso, ao concluir esta fase de minha vida profissional, devo agradecer a algumas pessoas que foram extremamente importantes nesta caminhada como também em toda a minha vida.

Inicialmente, preciso agradecer ao apoio incondicional de minha família, principalmente, de meus pais, Flávio Dênis e Luciana Lisboa, e minha querida irmã, Mariana Lisboa. Sem vocês nada disso seria possível, espero que este resultado possa expressar um pouco, através da ciência, o meu amor por vocês.

Também agradeço à minha família carioca, por toda a hospitalidade e carinho no período em que estive no Rio. Meu muito obrigado, tio Jorge Woobson, tia Rosa Tavares, Maria Clara Tavares e Juliana Tavares.

A Roberta Fraga, pelo companheirismo, por ser um porto seguro, por segurar a minha barra pesada, e encarar a distância junto a mim. Obrigado por tudo! Agradeço ainda a Gabriel Fraga.

Aos meus avós, Evandro Nobre e Maria de Lourdes Lisboa (*in memoriam*), Janete Tavares e Pedro Tavares, vocês são os meus *flamboyants*!

Agradeço ainda aos meus padrinhos, Salete Lisboa e Arthur Krause (*in memoriam*), à minha madrinha de coração, Maria do Carmo Nascimento (Cacá), aos meus tios, tias, primos e primas. Sou muito abençoado por ter essa família sempre unida e no meu dia-a-dia.

Aos meus amigos, que não nomeio para não esquecer ninguém, minha eterna gratidão por todos os momentos vividos. Aceitem minhas desculpas pelas ausências durante esse período.

À minha querida orientadora, Kátia Mansur, meu muitíssimo obrigado por me guiar e aceitar esse potiguar sob suas asas. Espero não ter dado muito trabalho!

Ao meu co-orientador, Marcos Nascimento, por todo o apoio de sempre e até mesmo pelos pedidos às 6h da manhã. Estamos juntos!

Aos guias locais do Geoparque Seridó pelas informações repassadas: Dean, Carlinhos, Ronivon e Ednaja. Também à querida Janaína Medeiros, um achado e uma base sólida para o Geoparque.

Preciso ainda enaltecer e agradecer a todos que fazem o PPGeo, o DGP e o Museu Nacional. Foi uma honra imensurável transitar nesta casa histórica e fazer ciência com profissionais tão dedicados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pela disponibilização de bolsa para a realização deste trabalho – Código de Financiamento 1696250.

Aos professores que aceitaram avaliar este trabalho (Aline Castro, Eliane Guede, Luiza Ponciano e Renato Ramos), saibam que todas suas críticas e sugestões serão atentamente ouvidas. Meu muito obrigado!

E, como sempre, meu agradecimento à Nossa Senhora dos Navegantes, que está presente em minha vida, me guiando nas “ondulações inconstantes”.

“Os poderosos podem matar
uma, duas ou até três rosas,
mas jamais conseguirão deter
a chegada da primavera”

Che Guevara

RESUMO

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E ÍNDICES DE GEODIVERSIDADE COMO SUPORTE DA GEOCONSERVAÇÃO NO GEOPARQUE SERIDÓ

Matheus Lisboa Nobre da Silva

Orientadores: Kátia Leite Mansur & Marcos Antonio Leite do Nascimento

Resumo da Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geociências – Patrimônio Geopaleontológico, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geociências.

A história da Terra criou condições necessárias para o desenvolvimento da geodiversidade, que por sua vez permitiu o estabelecimento da diversidade biótica no planeta. Assim como a biodiversidade é objeto de estudos e de ações de proteção, a natureza abiótica também precisa ser conservada, utilizada de forma mais sustentável. Uma das formas de se fazer isto é a delimitação de áreas em que existam elementos de importância superior à da média, seja para o ecossistema, para a ciência ou para o ser humano. Estas áreas, com importante patrimônio geológico, podem definir um geoparque. Um exemplo de projeto brasileiro neste sentido é o do Geoparque Seridó, área deste estudo, localizado no interior do Rio Grande do Norte, englobando seis municípios potiguares, com uma notável geodiversidade, de ocorrências desde o Riáciano até o Quaternário, em feições geomorfológicas que vão desde depressões a planaltos e serras. Como forma de se evidenciar a importância dos elementos abióticos dessa região, fez-se um estudo de avaliação da geodiversidade local, qualitativamente de acordo com a metodologia de serviços ecossistêmicos e quantitativamente por métodos de geoprocessamento. Também foram identificadas, neste trabalho, as principais ameaças à geodiversidade, e mostrou-se uma possibilidade de uso de geotecnologias na implementação de ação de geoconservação. Por fim, observou-se que os geossítios da proposta aqui trabalhada exemplificam os lugares de geodiversidade elevada, além de estarem associados a 19 bens e processos dos serviços ecossistêmicos da natureza abiótica, o que fundamenta a importância de proteção destes lugares, tanto para o ecossistema como para o ser humano.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos; Geodiversidade; Geoconservação; Geoparque Seridó.

Rio de Janeiro

Setembro de 2018

ABSTRACT

ECOSYSTEM SERVICES AND GEODIVERSITY INDEXES AS SUPPORT FOR GEOCONSERVATION IN SERIDÓ GEOPARK

Matheus Lisboa Nobre da Silva

Orientadores: Kátia Leite Mansur & Marcos Antonio Leite do Nascimento

Abstract da Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geociências – Patrimônio Geopaleontológico, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geociências.

The history of Earth created necessary conditions for the development of geodiversity, which allowed the establishment of biotic diversity on planet. Just as biodiversity is the subject of studies and protection actions, the abiotic nature also needs to be conserved, used in a more sustainable way. One of the ways to do this is to delimit areas where there are elements of higher importance than the average, either for the ecosystem, science or for the human being. These areas, with important geoheritage, may define a geopark. An example of a Brazilian project in this sense is the Seridó Geopark, area of this study, located in the interior of Rio Grande do Norte, encompassing six Potiguar municipalities, with a notable geodiversity, occurring from the Riacian to the Quaternary, with geomorphological features such as depressions, plateaus and saws. As a way of highlighting the importance of the abiotic elements of this region, an evaluation of local geodiversity was carried out, qualitatively according to the methodology of ecosystem services and quantitatively by geoprocessing methods. The main threats to geodiversity were also identified, and it was shown a possibility of geotechnologies use in the implementation of geoconservation action. Finally, it was observed that the geosites of the present proposal exemplify the places of high geodiversity, besides being associated with 19 goods and processes of the ecosystem services of the abiotic nature, which underlies the importance of protection of these places, both for the ecosystem as for the human being.

Keywords: Ecosystem Services; Geodiversity; Geoconservation; Seridó Geopark.

Rio de Janeiro
Setembro de 2018

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE TABELAS.....	XXI
1. INTRODUÇÃO	22
1.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	23
1.2 ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS.....	25
1.3 ASPECTOS ECONÔMICOS	27
1.4 ASPECTOS CULTURAIS	28
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	29
2.1.1 <i>Província Borborema</i>	30
2.2 GEOLOGIA LOCAL.....	34
2.2.1 <i>Complexo Caicó</i>	36
2.2.2 <i>Grupo Seridó</i>	36
2.2.3 <i>Suítas Intrusivas</i>	37
2.2.4 <i>Diques Pegmatíticos</i>	39
2.2.5 <i>Vulcanismo Rio Ceará Mirim</i>	39
2.2.6 <i>Formação Serra do Martins</i>	40
2.2.7 <i>Vulcanismo Macau</i>	41
2.2.8 <i>Depósitos Colúvio-Eluviais</i>	41
2.2.9 <i>Depósitos Aluvionares</i>	41
2.3 GEODIVERSIDADE.....	42
2.3.1 <i>Valores da Geodiversidade</i>	44
2.3.2 <i>Patrimônio Geológico</i>	44
2.4 GEOCONSERVAÇÃO.....	47
2.5 GEOPARQUES.....	53
2.6 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	57
2.6.1 <i>Definição</i>	57
2.6.2 <i>Serviços Ecosistêmicos e Geodiversidade</i>	62
3. OBJETIVOS	65

3.1	OBJETIVO GERAL.....	65
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	65
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	66
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	66
4.2	ATIVIDADES DE CAMPO	66
4.3	AVALIAÇÃO QUALITATIVA	67
4.3.1	<i>Valor Intrínseco</i>	68
4.3.2	<i>Serviço de Regulação</i>	68
4.3.3	<i>Serviço de Suporte</i>	69
4.3.4	<i>Serviço de Provisão</i>	70
4.3.5	<i>Serviço Cultural</i>	72
4.3.6	<i>Serviço de Conhecimento</i>	73
4.4	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA	76
4.5	FOTOGRAMETRIA.....	90
5.	RESULTADOS	94
5.1	DESCRIÇÃO DOS GEOSSÍTIOS.....	98
5.1.1	<i>Serra Verde</i>	98
5.1.2	<i>Cruzeiro de Cerro Corá</i>	100
5.1.3	<i>Vale Vulcânico</i>	101
5.1.4	<i>Tanque dos Poscianos</i>	103
5.1.5	<i>Lagoa do Santo</i>	105
5.1.6	<i>Pico do Totoró</i>	107
5.1.7	<i>Morro do Cruzeiro</i>	108
5.1.8	<i>Mina Brejuí</i>	109
5.1.9	<i>Cânions dos Apertados</i>	111
5.1.10	<i>Açude Gargalheiras</i>	113
5.1.11	<i>Poço do Arroz</i>	114
5.1.12	<i>Cruzeiro de Acari</i>	116
5.1.13	<i>Marmitas do Rio Carnaúba</i>	117
5.1.14	<i>Xiquexique</i>	119
5.1.15	<i>Monte do Galo</i>	121
5.1.16	<i>Açude Boqueirão</i>	122

5.1.17	<i>Mirador</i>	124
5.2	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO GEOPARQUE SERIDÓ	125
5.2.1	<i>Serviço de Regulação</i>	125
5.2.2	<i>Serviço de Suporte</i>	126
5.2.3	<i>Serviço de Provisão</i>	128
5.2.4	<i>Serviço Cultural</i>	129
5.2.5	<i>Serviço de Conhecimento</i>	131
5.3	VALORAÇÃO QUANTITATIVA	134
5.3.1	<i>Método de Pereira et al. (2013)</i>	134
5.3.2	<i>Método de Forte et al. (2018)</i>	144
5.4	FOTOGRAMETRIA.....	147
5.5	PRINCIPAIS AMEAÇAS IDENTIFICADAS.....	149
6.	DISCUSSÃO	153
6.1	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO GEOPARQUE SERIDÓ	153
6.2	VALORES QUANTITATIVOS DO GEOPARQUE SERIDÓ	156
6.3	APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS TRIDIMENSIONAIS.....	159
6.4	PROPOSTAS DE GEOCONSERVAÇÃO	160
7.	CONCLUSÕES	163
8.	RECOMENDAÇÕES	167
	REFERÊNCIAS	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Logomarca do projeto Geoparque Seridó.....	22
Figura 2 – Localização do Geoparque Seridó (área em vermelho) e seus municípios.	24
Figura 3 – Tipos climáticos na área do Geoparque Seridó. Modificado de Diniz & Oliveira (2015).	25
Figura 4 – Fotografia mostrando as diferentes feições geomorfológicas encontradas no Geoparque Seridó, destaque para serras, morros, depressão e planícies. Foto: Matheus Lisboa.	26
Figura 5 – Rede hidrográfica da região do Geoparque Seridó (em azul). Fonte: <i>Google Earth</i>	27
Figura 6 – Porção continental da Placa Sul-americana. Fonte: Schobbenhaus & Brito Neves (2003).	29
Figura 7 – Províncias Estruturais Brasileiras com destaque em amarelo para a Província Borborema. Modificado de Almeida <i>et al.</i> (1977).....	30
Figura 8 – Domínios tectônicos e principais estruturas da Província	32
Figura 9 – Domínios tectônicos e principais estruturas da Subprovíncia	33
Figura 10 – Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Angelim <i>et al.</i> (20016).	34
Figura 11 – Coluna litoestratigráfica da área de estudo. Adaptado de Angelim <i>et al.</i> (2006) para a área de estudo.....	35
Figura 12 – Perfil estratigráfico da Serra de Santana. Compilado de Menezes (1999).	40
Figura 13 – Curvas teóricas da evolução da geodiversidade e da biodiversidade ao longo da história da Terra de acordo com diversos autores. Traduzido de Gray (2013).	43
Figura 14 – Síntese esquemática e hierarquização do patrimônio geológico e seus tipos.	46
Figura 15 – Classificação da geodiversidade de acordo com os valores. Traduzido de Brilha (2016).	50
Figura 16 – Instrumentos instalados para o monitoramento das condições hidrológicas da cascata El Chorro de Los Navalucillos, Espanha: A) estação metereológica; B) câmera fotográfica; C) painel informativo; D) parte alta da cachoeira onde foi instalado o limnómetro piezoresistivo (E).	51
Figura 17 – Modelo conceitual para a geoconservação. Traduzido de Tavares <i>et al.</i> (2015)..	52
Figura 18 – Logomarca do Programa de Geoparques da UNESCO.....	53
Figura 19 – Localização dos geoparques membros do Programa Geoparques da UNESCO. .	54

Figura 20 – Propostas do Projeto Geoparques da CPRM.	56
Figura 21 – Número de artigos que usaram o termo “ecosystem services” ou “ecological services” até 2007. Fonte: Fisher <i>et al.</i> (2009).	59
Figura 22 – Número de artigos publicados entre 2005 e 2016 que citam o termo “ecosystem services”. Fonte: McDonough <i>et al.</i> (2017).	59
Figura 23 – Número de artigos publicados entre 2005 e 2016 que citam o termo “ecosystem services” divididos por área de aplicação e países de origem. Fonte: McDonough <i>et al.</i> (2017).	61
Figura 24 – Diagrama dos serviços e valor ecossistêmicos da natureza (biodiversidade e geodiversidade) de acordo com Millenium Ecosystem Assessment (2005) e Gray (2013). ...	62
Figura 25 – Diagrama simplificado dos valores, serviços, bens e processos da geodiversidade sensu Murray Gray. Fonte: Silva (2016).	75
Figura 26 – Exemplificação do grid de amostragem e da composição dos valores de sub-índices segundo o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).	77
Figura 27 – Grid com 824 polígonos criado para aplicação do método de avaliação quantitativa da geodiversidade de Pereira <i>et al.</i> (2013) na área de estudo, malha de 2x2 km.	78
Figura 28 – Representação simplificada do método de análise quantitativa da geodiversidade proposto por Pereira <i>et al.</i> (2013).	80
Figura 29 – Representação simplificada do método de análise quantitativa da geodiversidade proposto por Forte <i>et al.</i> (2018).	81
Figura 30 – Representação simplificada do método de análise quantitativa da geodiversidade aplicado neste trabalho.	82
Figura 31 – Mapa de geomorfologia da área do Geoparque Seridó. Fonte: Diniz <i>et al.</i> (2017).	85
Figura 32 – Mapa de hidrografia da área do Geoparque Seridó. Fonte: Angelim <i>et al.</i> (2006).	86
Figura 33 – Mapa de litologia da área do Geoparque Seridó. Fonte: Angelim <i>et al.</i> (2006)...	87
Figura 34 – Mapa de pedologia da área do Geoparque Seridó. Fonte: IBGE.	88
Figura 35 – Mapa de ocorrências minerais da área do Geoparque Seridó. Fonte: Angelim <i>et al.</i> (2006).	89
Figura 36 – Esquema de posicionamento das imagens ao redor do geossítio Morro do Cruzeiro e geologia simplificada	91

Figura 37 – A) Alinhamento das imagens utilizadas no modelo; B) Nuvem de pontos esparsa.	92
Figura 38 – Detalhe da malha triangular gerada no processamento do modelo 3D	92
Figura 39 – Mapa de localização do Geoparque Seridó e os seus geossítios.....	96
Figura 40 – Coluna estratigráfica do Geoparque Seridó.....	97
Figura 41 – Veio de pegmatito cortando granito equigranular no Geossítio Serra Verde.....	98
Figura 42 – Fotografias do Geossítio Serra Verde: A) Geoformas Cabeça de Cachorro/Dinossauro e Pedra do Nariz; B) Placa de identificação do Tanque Azul colocado por alunos de um colégio; C) Bloco rolado de granito onde são encontrados, em seu interior, registros rupestres (D); E) Vista geral do Tanque Azul e a geoforma Pedra do Caju. Fotos: Matheus Lisboa.....	99
Figura 43 – Fotografias do Geossítio Cruzeiro de Cerro Corá: A) Vista dos blocos de granito sobre os quais estão posicionados o cruzeiro e o mirante da cidade; B) Vista a partir do mirante para o açude que abastece a cidade. Fotos: A) Matheus Lisboa; B) Marcos Nascimento.....	100
Figura 44 – Mapa geológico simplificado da trilha de acesso ao Geossítio Vale Vulcânico.	101
Figura 45 – Fotografias do Geossítio Vale Vulcânico: A) Detalhe das disjunções colunares; B) Ocorrência do embasamento do Complexo Caicó no geossítio, cortado por veios de quartzo; C) Depósito de talus formado por blocos de basalto rolados; D) Relação de dependência da biodiversidade local com a geodiversidade; E) Vista geral de disjunções colunares horizontais que ocorrem no geossítio. Fotos: Matheus Lisboa.	102
Figura 46 – Mapa geológico simplificado da trilha até o Geossítio Tanque dos Poscianos. .	103
Figura 47 – Fotografias do Geossítio Tanque dos Poscianos: A) Enclaves dioríticos no granito e cortados por veios de pegmatito; B) Dois aspectos do granito encontrado no geossítio: fino (acima da escala) e porfirítico (abaixo); C) Vista, a partir do geossítio, para o lado sul do Geoparque Seridó; D) Tanques no granito preenchidos por água. Fotos: Matheus Lisboa...	104
Figura 48 – Fragmento fossilífero de carapaça dorsal de um <i>Tolypeutes</i> encontrado no Geossítio Lagoa do Santo. Foto: Marcos Nascimento.	105
Figura 49 – Fotografias do Geossítio Lagoa do Santo: A) Registros rupestres encontrados no granito; B) Aspecto geral do granito porfirítico cortado por veio de pegmatito; C) Pedra do sino; D) Vista geral do geossítio. Fotos: Matheus Lisboa.	106
Figura 50 – Fotografias do Geossítio Pico do Totoró: A) Geoforma Pedra do Navio; B) Enclave diorítico no granito porfirítico encontrado no geossítio; C) Geoforma Pedra do Caju com o Pico do Totoró ao fundo. Fotos: Matheus Lisboa.	107

Figura 51 – Fotografias do Geossítio Morro do Cruzeiro: A) À esquerda, micaxisto da Formação Seridó no qual o pegmatito (à direita) é encaixado seguido a direção do plano axial das dobras; B) Vista geral do geossítio com o cruzeiro colocado em cima do corpo. Fotos: Matheus Lisboa.....	108
Figura 52 – Fotografias do Geossítio Mina Brejuí: A) Entrada de galeria destinada à visitação turística; B) Igreja da vila dos trabalhadores; C) Vista interna de galeria; D) Vagonetes na entrada de galeria; E) Complexo de oficinas da época do início de exploração.	110
Figura 53 – Esboço do perímetro de abrigo sob rocha no Geossítio Cânions dos Apertados. No canto superior direito, foto do local. Foto: Matheus Lisboa.	111
Figura 54 – Fotografias do Geossítio Cânions dos Apertados: A) Vista geral dos cânions e o leito do rio Picuí; B) Marmitas formadas pela erosão fluvial em corpo de quartzito; C) Corpo de pegmatito cortando quartzito; D) Estruturas de sedimentação do protólito preservadas e dobradas no quartzito; E) Vista das paredes de quartzito do cânion. Fotos: Matheus Lisboa.	112
Figura 55 – Fotografias do Geossítio Açude Gargalheiras: A) Visão da Serra do Minador e a barragem do Açude Gargalheiras; B) Destaque para os morros de granito que compõem a paisagem local. Fotos: Matheus Lisboa.	113
Figura 56 – Dique de pegmatito com granulometria grossa cortando o granito no Geossítio Poço do Arroz. Foto: Matheus Lisboa.	114
Figura 57 – Fotografias do Geossítio Poço do Arroz: A) Vista geral do geossítio; B) e C) Exemplos de litogravuras encontrados no local; D) Local conhecido com Biblioteca, que apesar de não estar localizado no ponto principal do geossítio, faz parte do entorno. Neste lugar, os “livros” são um complexo de falhas escalonadas, tipo dominó, no granito. Fotos: Matheus Lisboa.....	115
Figura 58 – Fotografias do Geossítio Cruzeiro de Acari: A) Fenocristais de feldspato potássico denotando também um fluxo magmático pelo seu alinhamento; B) Evidência de textura tipo rapakivi; C) Vista geral do geossítio com o cruzeiro posto sobre o corpo granítico. Fotos: Matheus Lisboa.....	116
Figura 59 – Fotografias do Geossítio Marmitas do Rio Carnaúba: A) Veios de pegmatito cortando o granito; B) Destaque para fenocristais de feldspato potássico; C) Marmita no granito; D) Vista de parte do geossítio. Fotos: Matheus Lisboa.	118
Figura 60 – Geoprodutos feitos pelo artesão carnaubense José Evangelista com o uso de rejeito de mineração local e inspirado nos registros rupestres do Geossítio Xiquexique.	119

Figura 61 – Fotografias do Geossítio Xiquexique: A) Destaque para dobra recumbente no quartzito; B) Registros rupestres com diversos temas encontrados no local; C) Destaque para a estrutura de visitação atualmente existente. Fotos: Matheus Lisboa.	120
Figura 62 – Fotografias do Geossítio Monte do Galo: A) Vista próxima do corpo de pegmatito; B) Destaque para o galo e o cruzeiro postos no topo do geossítio; C) Vista geral do geossítio.	121
Figura 63 – Perspectiva da Serra das Queimadas com a silhueta da princesa adormecida....	122
Figura 64 – Fotografias do Geossítio Açude Boqueirão: A) Detalhe de bloco de metaconglomerado encontrado no local; B) Vista para o açude a partir da Serra das Queimadas. Fotos: Matheus Lisboa.	123
Figura 65 – Fotografias do Geossítio Mirador: A) Estrutura de visitação atualmente existente com passarelas de madeira; B) Registros rupestres no metaconglomerado; C) Vista geral do geossítio. Fotos: Matheus Lisboa.	124
Figura 66 – Os processos erosivos fluviais foram os responsáveis por modelar os cânions e marmitas encontrados no Geossítio Cânions dos Apertados, exemplo de um serviço de regulação da geodiversidade. Foto: Matheus Lisboa.	126
Figura 67 – Exemplos de serviço de suporte da geodiversidade: A) sapo encontrado em tanque no Geossítio Serra Verde; B) a barragem no Geossítio Açude Gargalheiras foi construída aproveitando-se da geodiversidade local. Fotos: Matheus Lisboa.	127
Figura 68 – O acúmulo de água no Geossítio Tanque dos Poscianos (A) e o uso de blocos de granitos para a construção de muros na área do Geossítio Poço do Arroz (B) são exemplos do serviço de provisão da geodiversidade. Fotos: A) Matheus Lisboa; B) Kátia Mansur.....	129
Figura 69 – A) Monumento aos mineradores na entrada da cidade de Currais Novos, que mostra a importância da Mineração, sobretudo do Geossítio Mina Brejuí, na história do município. Foto: Matheus Lisboa; B) Pintura a óleo do artista Adriano Santori retratando o Geossítio Pico do Totoró. Fonte: https://adrianosantori.wordpress.com/galeria/picodototoro/ . Acesso em 30 de julho de 2018.	131
Figura 70 – Exemplos do serviço de conhecimento da geodiversidade: A) História da Terra, com registro de vulcanismo de 25 Ma no Geossítio Vale Vulcânico; B) Emprego para o guia Dean Carvalho que exerce sua atividade no Geossítio Xiquexique. Fotos: Matheus Lisboa.	132
Figura 71 – Mapa de subíndice de geomorfologia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).....	136

Figura 72 – Mapa de subíndice de hidrografia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).....	137
Figura 73 – Mapa de subíndice de litologia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).....	138
Figura 74 – Mapa de subíndice de pedologia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).....	139
Figura 75 – Mapa de subíndice de ocorrências minerais da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).	140
Figura 76 – Mapa de índice de geodiversidade da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).....	142
Figura 77 – Mapa de índice de geodiversidade interpolado da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira <i>et al.</i> (2013).....	143
Figura 78 – Mapa de união das informações sobre diversidade abiótica na área do geoparque e centroide dos polígonos.....	145
Figura 79 – Mapa de índice de geodiversidade da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Forte <i>et al.</i> (2018).	146
Figura 80 – Parte frontal (a esquerda) e traseira (a direita) do modelo 3D gerado.	147
Figura 81 – Modelo 3D gerado por fotogrametria do Geossítio Morro do Cruzeiro. A – Vista frontal; B – Vista lateral direita; C – Vista lateral esquerda; D – QRcode para acesso ao modelo virtual.	147
Figura 82 – Destaque para os detalhes observáveis no modelo 3D gerado, em que é possível distinguir os dois tipos de rocha presentes no geossítio: micaxisto (base) e pegmatito (principal corpo).	148
Figura 83 – Modelo impresso em material ABS com 10cm de altura.....	148
Figura 84 – Pichação no Geossítio Tanque dos Poscianos. Foto: Matheus Lisboa.....	149
Figura 85 – Lixo no Geossítio Cruzeiro de Acari (canto esquerdo inferior). Foto: Matheus Lisboa.....	149
Figura 86 – Destaque à esquerda para furos de amostragem na parte frontal no Geossítio Cruzeiro de Acari. Foto: Kátia Mansur.....	150
Figura 87 – Desgaste do bloco de granito da “Pedra do Sino” (manchas brancas) em função do constante impacto no corpo para a produção do som das badaladas. Foto: Matheus Lisboa.	150
Figura 88 – Pichação em forma de coração junto aos registros rupestres encontrados no Geossítio Serra Verde. Foto: Matheus Lisboa.....	151

Figura 89 – Inscrições religiosas na parede rochosa de pegmatito no Geossítio Morro do Cruzeiro. Foto: Matheus Lisboa.	151
Figura 90 – Deslocamento do granito no Geossítio Açude Gargalheiras. Foto: Matheus Lisboa.	152
Figura 91 – Dissolução do metaconglomerado carbonático no Geossítio Mirador. Além de afetar a rocha, torna-se um problema para a conservação dos registros rupestres encontrados no local. Foto: Matheus Lisboa.	152
Figura 92 – Mapa mostrando a distribuição espacial dos geossítios e a identificação dos seus serviços primário e secundário. Fonte: Silva <i>et al.</i> (2017).....	155
Figura 93 – Mapas quantitativos de geodiversidade com avaliação qualitativa dos geossítios do Geoparque Seridó. A esquerda, segundo o método de Pereira <i>et al.</i> (2013) e, a direita, segundo o método de Forte <i>et al.</i> (2018).	158
Figura 94 – Sinalização vertical de orientação para o Geossítio Vale Vulcânico.	161
Figura 95 – Sinalização vertical de orientação para os geossítios Pico do Totoró e Lagoa do Santo.....	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativas de população dos municípios que compõem o Geoparque Seridó.	24
Tabela 2 – Descrição sistemática das suítes intrusivas encontradas na região deste projeto, com características litológicas, químicas e geocronológicas.	39
Tabela 3 – Principais ameaças antrópicas à geodiversidade e exemplos de impactos.	48
Tabela 4 – Relação de trabalhos com as abordagens sobre serviços da natureza, ecossistêmicos ou geossistêmicos, e a justificativa para o uso.	63
Tabela 5 – Síntese dos serviços ecossistêmicos da geodiversidade identificados na área do Geoparque Seridó de acordo com os geossítios avaliados.	133

1. INTRODUÇÃO

O planeta Terra apresenta uma diversidade natural vasta, composta por uma biodiversidade amplamente entendida pelo grande público e por elementos abióticos, ou geodiversidade, que ainda não são plenamente compreendidos pelas pessoas que não são ligadas às geociências.

De forma semelhante com a natureza biótica, o meio físico também é afetado com as ações antrópicas. Assim, todos os componentes da diversidade natural precisam ser protegidos, principalmente através de um uso mais sustentável. Atividades neste sentido perpassam, necessariamente, pela ação de geocientistas.

Com o intuito de fortalecer a divulgação do conhecimento sobre o meio físico e promover ações de conservação da geodiversidade, a CPRM – Serviço Geológico do Brasil criou o Programa de Geoparques (Schobbenhaus & Silva 2012), no qual está inserido o Projeto Geoparque Seridó, área de estudo deste trabalho.

Hoje com grande apoio dos gestores municipais e estaduais, além das comunidades inseridas no território, o Geoparque Seridó (figura 1) começou a se tornar realidade e se concretizar como projeto de desenvolvimento sustentável no interior do Rio Grande do Norte, por meio do aproveitamento da diversidade abiótica local.



Figura 1 – Logomarca do projeto Geoparque Seridó

Um geoparque deve ser uma área em que seu patrimônio geológico seja notavelmente rico, diverso e com importância, sobretudo internacional. Além disso, as comunidades locais precisam estar integradas com o ambiente e utilizando seus recursos naturais de forma sustentável, colaborando com a conservação da natureza.

Um geoparque, portanto, deve ter uma base científica e, pode-se afirmar, antropológica. As geociências devem fornecer o embasamento que justifique a importância dos elementos abióticos para os ecossistemas e para o ser humano.

Este suporte pode ser dado através da avaliação dos serviços ecossistêmicos da natureza, que são compreendidos como os bens e processos que seres humanos obtêm como resultado de estarem envolvidos dentro de um ecossistema ativo, nativo ou modificado (Ruppert & Duncan 2017).

Em suma, representam a importância de cada elemento natural no estabelecimento, desenvolvimento e manutenção das condições ambientais que permitem as diferentes atividades humanas. São também os responsáveis pelo equilíbrio do ecossistema.

Através dos serviços ecossistêmicos, pode-se indicar a função de cada elemento no ecossistema e as possibilidades de uso pelo ser humano. Esta reflexão é já amplamente utilizada no estudo da biodiversidade desde a década de 1970, mas que atualmente tem sido aplicada pelos geocientistas em pesquisas com a geodiversidade.

Entender a diversidade abiótica do planeta e fornecer valor a ela é fundamental para o estabelecimento de bases científicas que suportem as ações de conservação, indicando os principais locais a serem protegidos pela sua participação nas paisagens, nos ciclos naturais do ecossistema, na manutenção do equilíbrio ou através de outra função.

Com o avanço das tecnologias, novos aliados surgem nos processos dos estudos ambientais, como o geoprocessamento e outras técnicas que forneçam possibilidades de ações de conservação e, no caso deste estudo, de geoconservação.

E estas ações devem estar integradas com as comunidades locais, que precisam ser parceiras e principais mantedoras do processo, a partir de um uso mais sustentável dos recursos naturais disponíveis no ambiente.

Assim, pela concepção dos serviços ecossistêmicos da natureza, este trabalho almeja a definição dos valores qualitativos da geodiversidade no Geoparque Seridó, de forma a fornecer uma base científica para o desenvolvimento de futuras ações de geoconservação na área. Ainda, lança-se mão de valores quantitativos e de geotecnologias como suporte

1.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O Geoparque Seridó está localizado no interior do Rio Grande do Norte, extremo nordeste do Brasil (figura 2), numa área de 2.802 km², distante 180 km da capital potiguar,

Natal, percorridos ao longo das rodovias federal BR-304 e estadual RN-226. Cortando o território estão ainda as rodovias BR-104, BR-427, RN-041 e RN-086.

O primeiro município acessado pela estrada, a partir de Natal, é Currais Novos. Ao norte ficam as cidades de Lagoa Nova e Cerro Corá e ao sul Acari, Carnaúba dos Dantas e Parelhas. A distância entre os municípios extremos da área não ultrapassa 100 km.

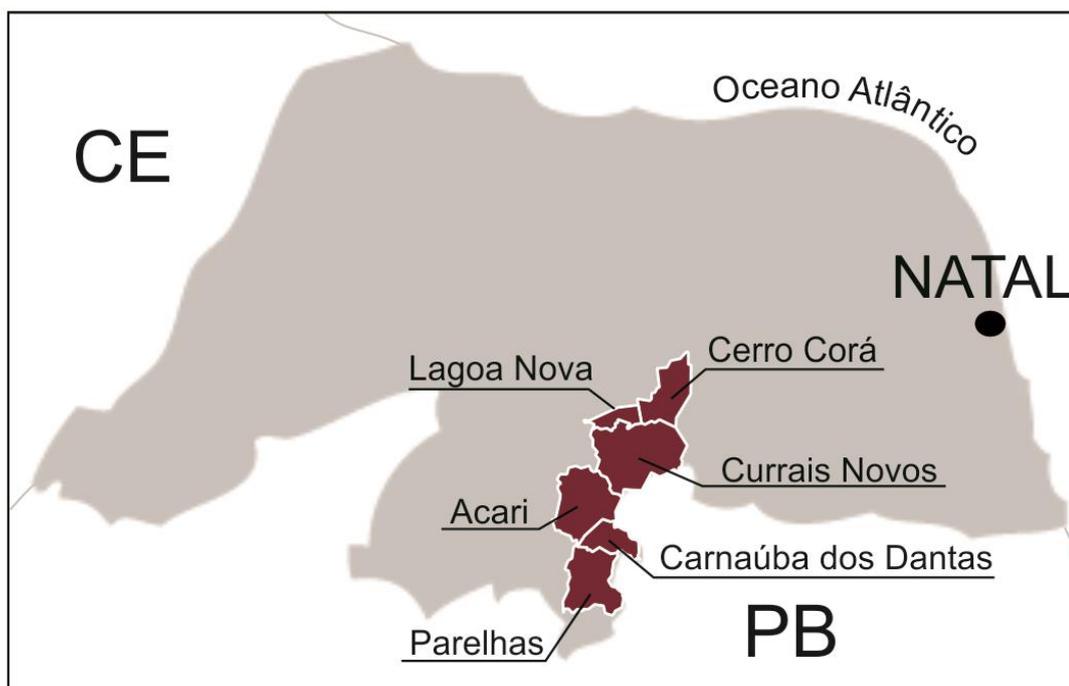


Figura 2 – Localização do Geoparque Seridó (área em vermelho) e seus municípios.

Segundo estimativa do IBGE, em 1 de julho de 2017 a população total da área do Geoparque Seridó é de 113.352 habitantes, distribuídos conforme os dados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Estimativas de população dos municípios que compõem o Geoparque Seridó.
Fonte: IBGE 2017.

Município	Área (km²)	População	IDH
Acari	608,466	11.333	0,679
Carnaúba dos Dantas	246,308	8.188	0,659
Cerro Corá	393,573	11.344	0,607
Currais Novos	864,349	45.228	0,691
Lagoa Nova	176,301	15.590	0,585
Parelhas	513,507	21.669	0,676
TOTAL	2.802,504	113.352	–
RIO GRANDE DO NORTE	52.811,107	3.507.003	0,684

1.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

– Clima

O clima local é influenciado pela Zona de Convergência Intertropical do Atlântico, principal sistema controlador das precipitações na região do Seridó, que, em geral, são concentradas na chamada quadra chuvosa, de maio a agosto.

Predomina na área o subtipo climático semiárido forte, conforme mostra a figura 3, com precipitações variando entre 400 e 900mm/ano (Diniz & Oliveira 2015). A temperatura média anual é de 28,3°C (INMET 2018).

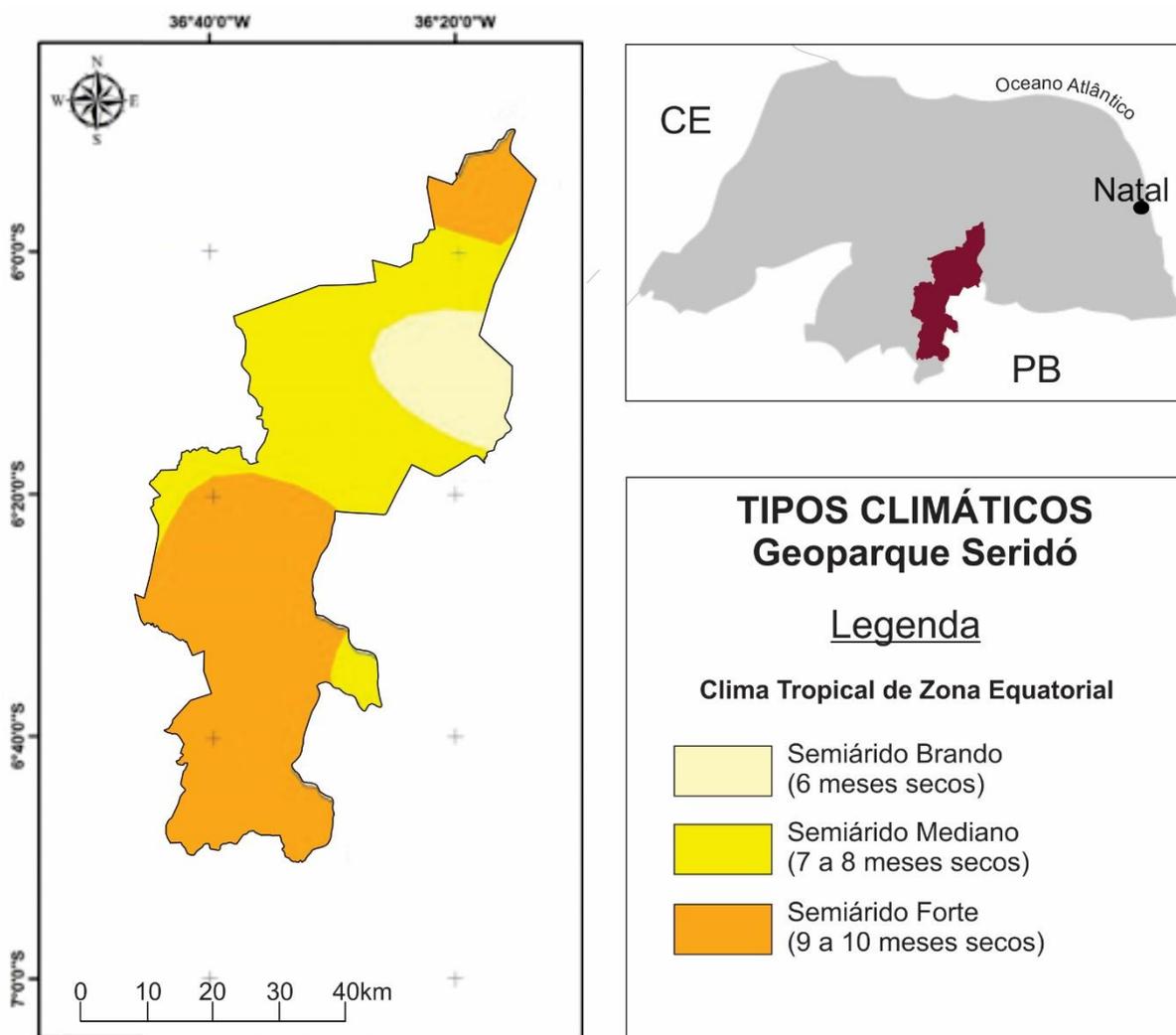


Figura 3 – Tipos climáticos na área do Geoparque Seridó. Modificado de Diniz & Oliveira (2015).

O número médio de horas de sol é de 3.600 horas/ano, correspondendo a 12 horas diárias de insolação. A umidade relativa do ar varia entre 60 e 70% (IDEMA 2009).

– Vegetação

A vegetação da área de estudo é englobada pelo Bioma Caatinga, com formações vegetais lenhosas, de porte baixo ou médio tipicamente caducifólio de caráter xerófilo, com grande quantidade de plantas espinhosas, de esgalhamento baixo, com muitas cactáceas e bromeliáceas. São espécies típicas da área: jurema preta, faveleira, pinhão-branco, mufumbo, imburana, juazeiro, xiquexique, macambira, coroa-de-frade (IDEMA 2009).

– Relevo

O relevo do Seridó possui uma origem poligenética, com formação de depressões interplanálticas e intermontanas semiáridas, revestidas por diferentes tipos de caatinga e pontilhadas por *inselbergs* (Diniz & Oliveira 2015).

De sul a norte, observa-se a presença de compartimentos da Depressão Sertaneja, morros, serras baixas, planaltos, planícies, escarpas de serra, chapadas, platôs e colinas dessecadas (figura 4).



Figura 4 – Fotografia mostrando as diferentes feições geomorfológicas encontradas no Geoparque Seridó, destaque para serras, morros, depressão e planícies. Foto: Matheus Lisboa.

– Hidrografia

Os rios são, em sua maioria, intermitentes, mas por vezes se apresentam perenizados pela ação antrópica (figura 5). A área de estudo é compreendida pelo sistema hidrográfico Piancó-Piranhas-Açu, mais especificamente na Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu, composta pelos rios Seridó, Acauã e Salgado. Destacam-se os açudes Dourado, Gargalheiras e Boqueirão (Nascimento & Ferreira 2012, Diniz & Oliveira 2015).

Os terrenos da região do Seridó potiguar são formados por rochas ígneas e metamórficas, em geral impermeáveis, o que dificulta o acúmulo de água em subsuperfície, possibilitado

apenas em fraturas nestas litologias ou nos terrenos sedimentares da Serra de Santana (Diniz & Oliveira 2015).

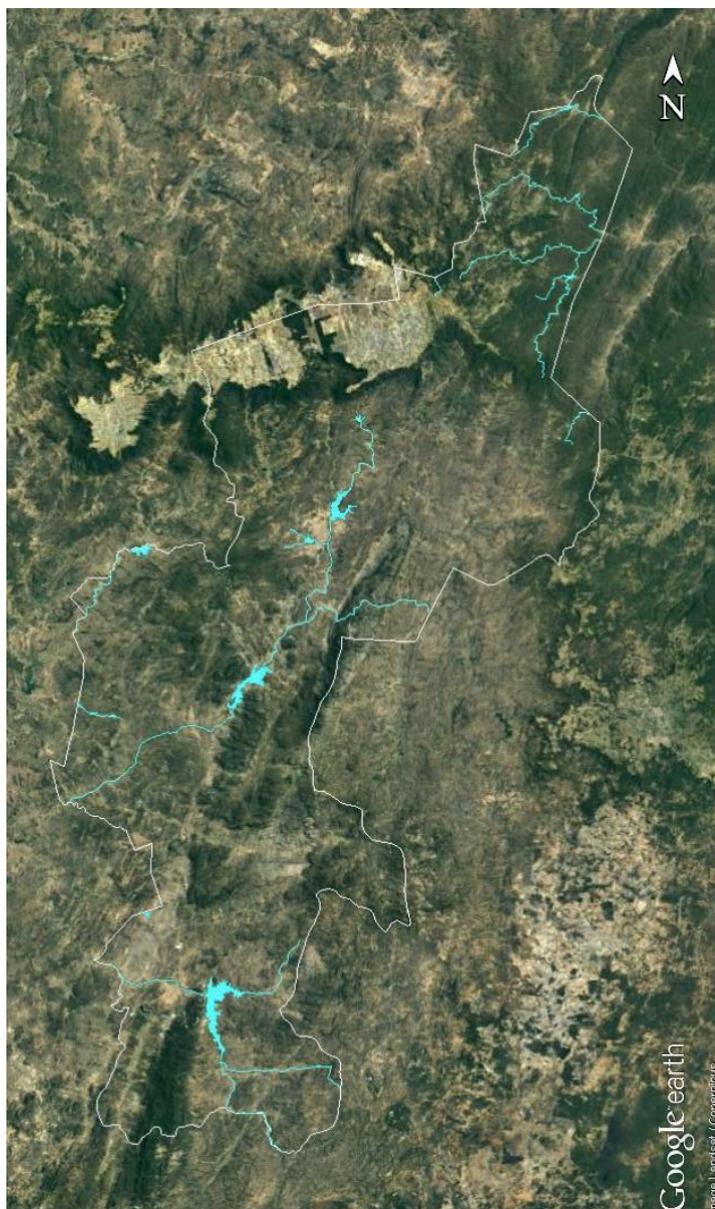


Figura 5 – Rede hidrográfica da região do Geoparque Seridó (em azul). Fonte: *Google Earth*.

1.3 ASPECTOS ECONÔMICOS

As principais atividades econômicas da região são a agropecuária e a mineração, esta última responsável pelo impulso socioeconômico ocorrido na região a partir da década de 1940.

O principal polinizador da economia na área é a cidade de Currais Novos. Os seis municípios que compõem o Geoparque são responsáveis por 32,37% do PIB da Microrregião do Seridó Potiguar, o que representa um valor total superior a 345 milhões de reais movimentados por esses municípios (IDEMA 2009).

1.4 ASPECTOS CULTURAIS

O Seridó no Rio Grande do Norte é conhecido por expressões culturais fortes, especialmente devido à sua religiosidade, com devoção à Sant'Ana, e pela sua gastronomia, reconhecida como única no estado. A cultura local também engloba as vaquejadas.

A relação do sertanejo com a terra, representada nos poemas e canções de aspecto popular, e o modo acolhedor do seridoense tornam essa região rica em cultura, em muito relacionada com o ambiente físico em que as comunidades locais se estabeleceram. Uma das principais formas de expressão cultural é a literatura de cordel, que conta diversas histórias locais, como pode ser visto no enxerto abaixo, retirado de Santori (2017), que fala sobre o Geoparque Seridó.

“[...] O cantador pede licença
Para essa história contar...
Sobre a grande maravilha
Que Deus se propôs a criar
Movendo rochas e terra
Em pleno sertão potiguar!

Isso foi há muitos milênios...
Deixou aqui Seu melhor...
Quem me contou foi um peba,
Assinou embaixo um mocó...
E o homem depois chamaria
de ‘Geoparque Seridó’

O geoparque é um espaço
Muito bem delimitado
Com notável patrimônio
Geologicamente formado...
Serve tanto para o estudo
Ou para ser apreciado

Aliado às coisas da terra
Também tem a valorização
Do turismo, história, cultura
Fauna e flora do sertão...
Só trazendo benefícios
Para toda a região.”

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

A compartimentação da placa Sul-americana é resultado dos processos de evolução crustal ocorridos ao longo do Meso-Cenozoico. A Plataforma Sul-Americana, por sua vez, corresponde à parte central da litosfera continental e é formada por seus escudos pré-cambrianos e coberturas do Fanerozoico (figura 6).

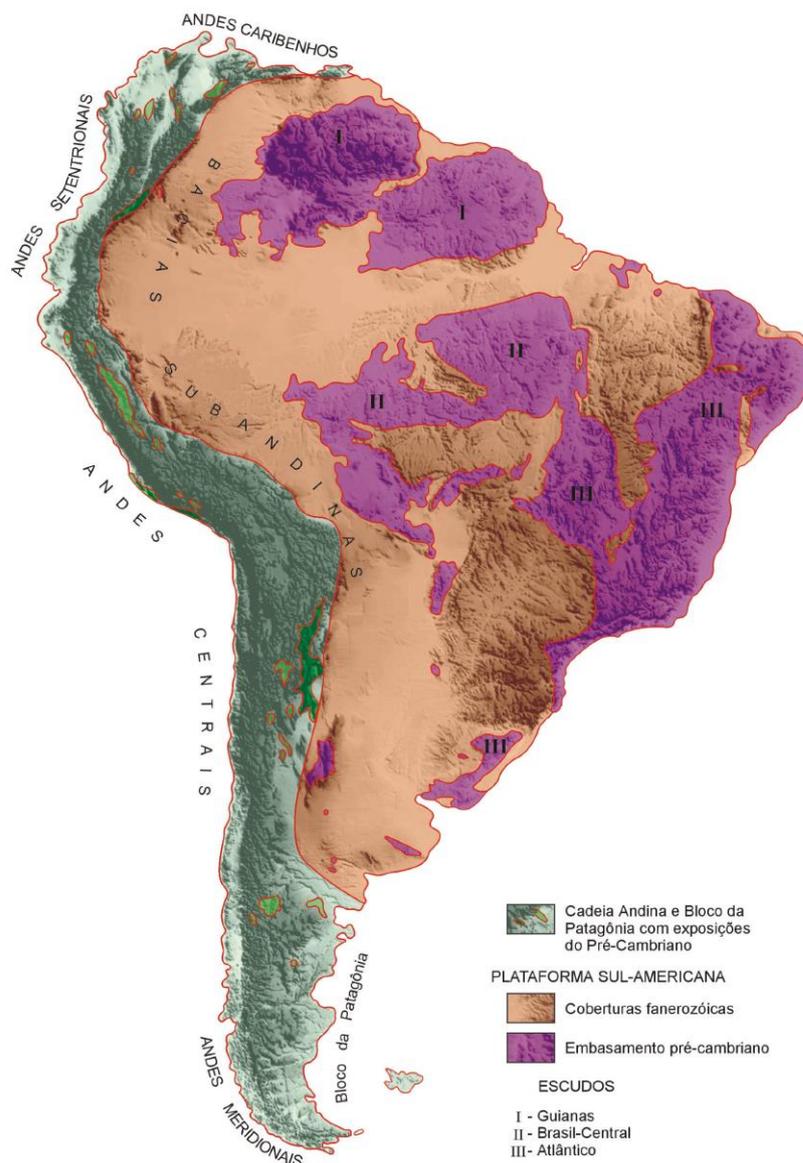


Figura 6 – Porção continental da Placa Sul-americana. Fonte: Schobbenhaus & Brito Neves (2003).

Os eventos ocorridos, sobretudo, durante o Ciclo Brasileiro, responsável pelo movimento de amalgamação e quebra do Gondwana, juntamente com as orogênias paleozoicas

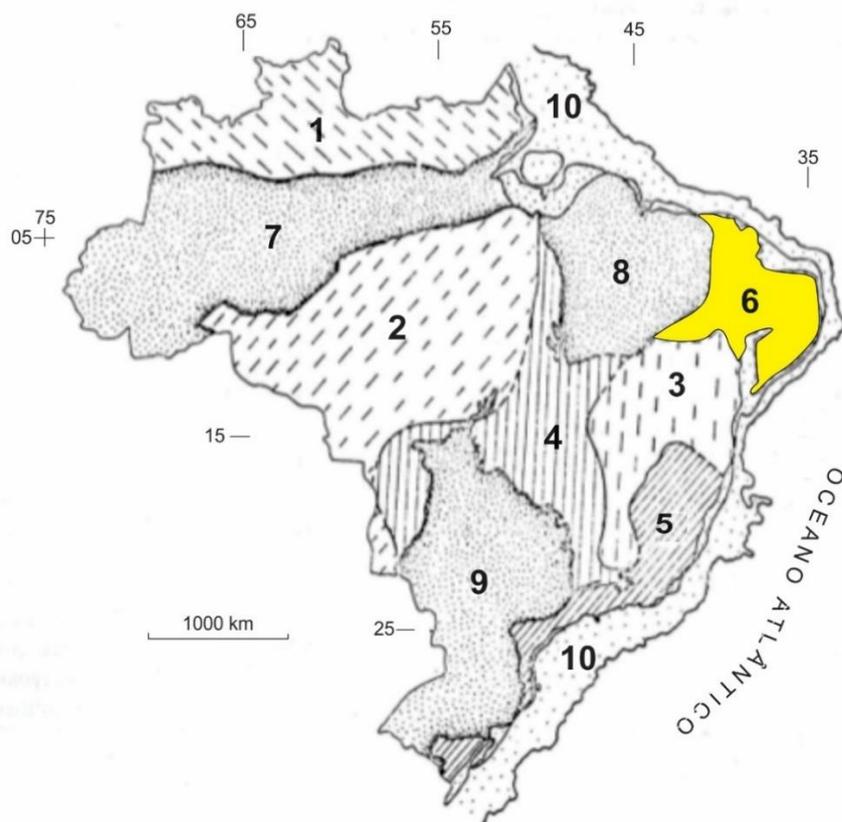
e mesozoicas fundamentaram a configuração litosférica atual (Schobbenhaus & Brito Neves 2003).

O escudo Atlântico, por sua vez, compreende as exposições do embasamento ao longo da margem atlântica, sendo consequência dos processos termotectônicos da deriva pós-Triássica (Schobbenhaus & Brito Neves 2003).

Neste contexto, foi estabelecida a Província Borborema, região possuidora de uma geologia única no Nordeste brasileiro, que resulta diretamente destes processos tectônicos, com registros importantes desde o Riáciano, mas predominantemente a partir do Ediacarano.

2.1.1 Província Borborema

A Província Borborema é caracterizada por um sistema de dobramentos desenvolvido ao longo do Ciclo Brasileiro (Almeida *et al.* 1977). Compreende uma área de mais de 380.000km² e está confinada entre as províncias Parnaíba a oeste, São Francisco em porções a sul e Costeira a norte, sul e leste (figura 7).



PROVÍNCIAS ESTRUTURAIS DO BRASIL

- 1 - Rio Branco; 2 - Tapajós; 3 - São Francisco; 4 - Tocantins
- 5 - Mantiqueira; 6 - Borborema; 7 - Amazônica; 8 - Parnaíba
- 9 - Paraná; 10 - Província Costeira e Margem Continental

Figura 7 – Províncias Estruturais Brasileiras com destaque em amarelo para a Província Borborema. Modificado de Almeida *et al.* (1977).

O desenvolvimento da Província Borborema remonta à evolução do supercontinente Atlântica, a partir do qual se estabeleceu o embasamento da província, composto por núcleos arqueanos e faixas paleoproterozoicas (Delgado *et al.* 2003).

Contudo, o estágio mais intenso de desenvolvimento na região se deu com as orogenias Cariris Velhos e, principalmente, Brasileira. Na primeira, ocorreram evidências de acreção continental durante um rifteamento ativo. Em seguida, condições de estabilidade permitiram a deposição de sedimentos siliciclásticos (Neves 2003).

Ao final do Neoproterozoico, o cráton do Oeste da África passou a ter sua margem norte circundada por bacias oceânicas, com o estabelecimento de zona de subducção. Com isso, tensões foram exercidas sobre o interior do supercontinente desenvolvendo bacias interiores do tipo rifte evoluindo para um estágio de proto-oceano, com subsequente subducção e fechamento oceânico. Essa fase está representada pela ocorrência de eclogitos nas regiões centrais da província (Neves 2003).

Por volta de 650 Ma, ocorreu a subducção consumindo a maior parte dos oceanos que circundavam as regiões norte e sul de Atlântica, gerando deformações por contração, permanecendo alguns movimentos distensionais localmente, que abriram espaços deposicionais em sistemas de rifte, como no caso da Faixa Seridó, posteriormente deformada pelo Ciclo Brasileiro (Neves 2003).

Santos (1996) sugere a interpretação tectônica da Província Borborema a partir da ótica dos terrenos litoestratigráficos, de forma a gerar uma apreciação mais dinâmica e sugerir a descontinuidade dos compartimentos. As zonas de cisalhamento da província são evidências de sua alta mobilidade. Os terrenos, segundo o autor, são separados por limites colisionais, relacionados a arcos magmáticos e com possíveis lascas oceânicas.

Neste contexto de terrenos e domínios e a partir dos dados litoestratigráficos, feições estruturais, dados geocronológicos e assinaturas geofísicas, Delgado *et al.* (2003) definiram três segmentos delimitados por importantes zonas de cisalhamento, denominando essas porções de Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia Transversal e Subprovíncia Meridional.

A Subprovíncia Setentrional está localizada a norte do Lineamento Patos e é compartimentada nos Domínios Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte, este composto pelas faixas Orós–Jaguaribe e Seridó e pelos terrenos Rio Piranhas, São José do Campestre e Granjeiro.

A Subprovíncia Transversal está compreendida entre os lineamentos Patos, a norte, e Pernambuco, a sul. É composta pela Faixa Cachoeirinha e pelos terrenos Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe.

A Subprovíncia Meridional está situada a sul do Lineamento Pernambuco, sendo composta pelos terrenos Pernambuco–Alagoas, Paulistana–Monte Orebe e Canindé–Marancó, e pelas faixas Riacho do Pontal e Sergipana.

A figura 8 mostra a compartimentação da Província Borborema segundo o que definem Delgado *et al.* (2003), com seus domínios, terrenos, faixas e bacias.

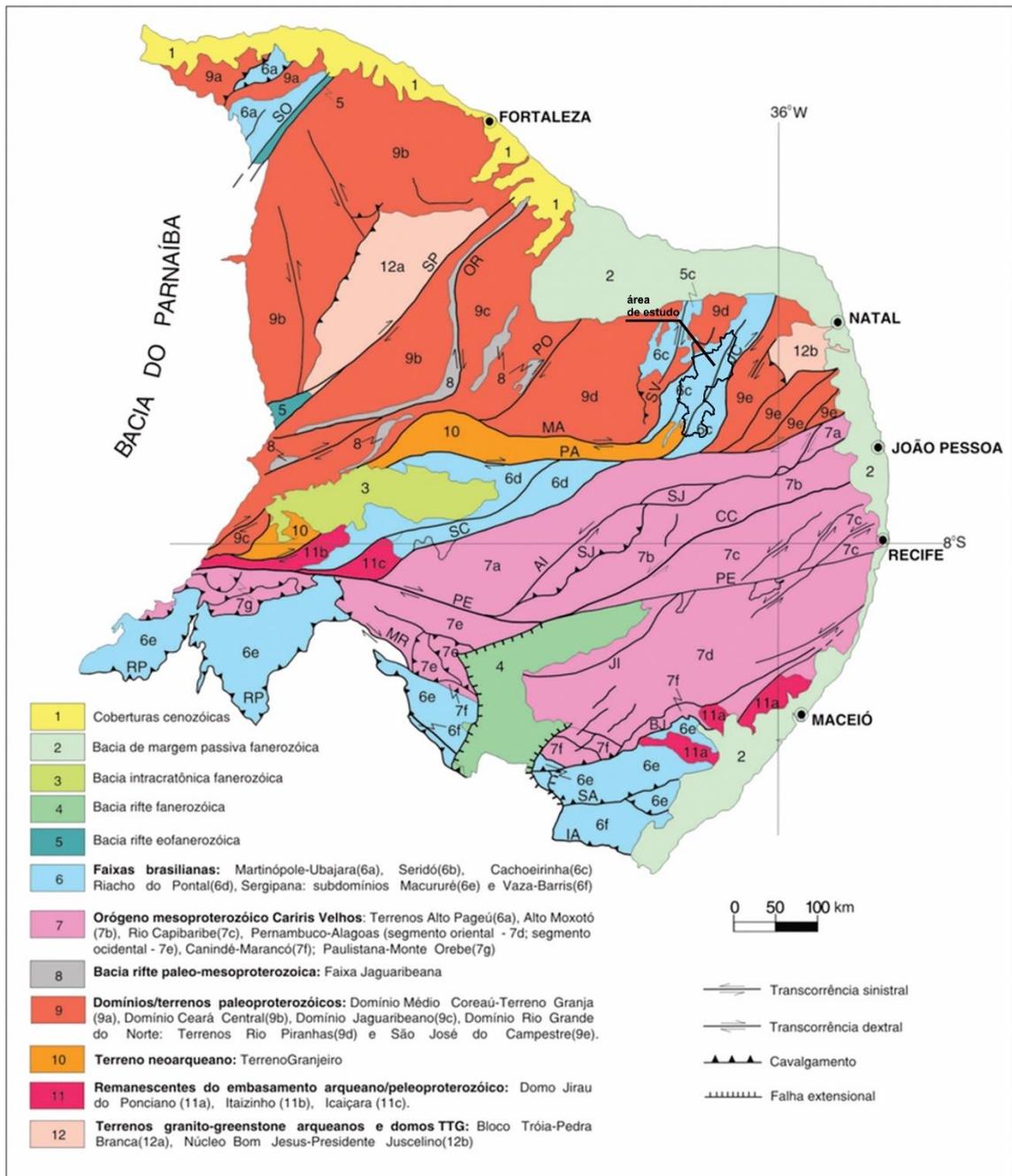


Figura 8 – Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Borborema segundo Delgado *et al.* (2003).

Nos trabalhos mais recentes como os de Angelim *et al.* (2006), Medeiros (2008) e Medeiros & Nascimento (2015), a Subprovíncia Setentrional é dividida em domínios. Essa compartimentação é definida com a delimitação das unidades por zonas de cisalhamento de destaque expressivo em subsuperfície, sendo as principais de Patos e Portalegre. Define os domínios, de oeste para leste, Jaguaribeano, Rio Piranhas-Seridó e São José de Campestre.

A área de estudo desta pesquisa está inserida no contexto do Domínio Rio Piranhas-Seridó (figura 9), que é delimitada a oeste pela zona de cisalhamento Portalegre e a sul pela zona de cisalhamento Patos. O limite leste é a zona de cisalhamento Picuí-João Câmara e a norte encontra-se a Bacia Potiguar.

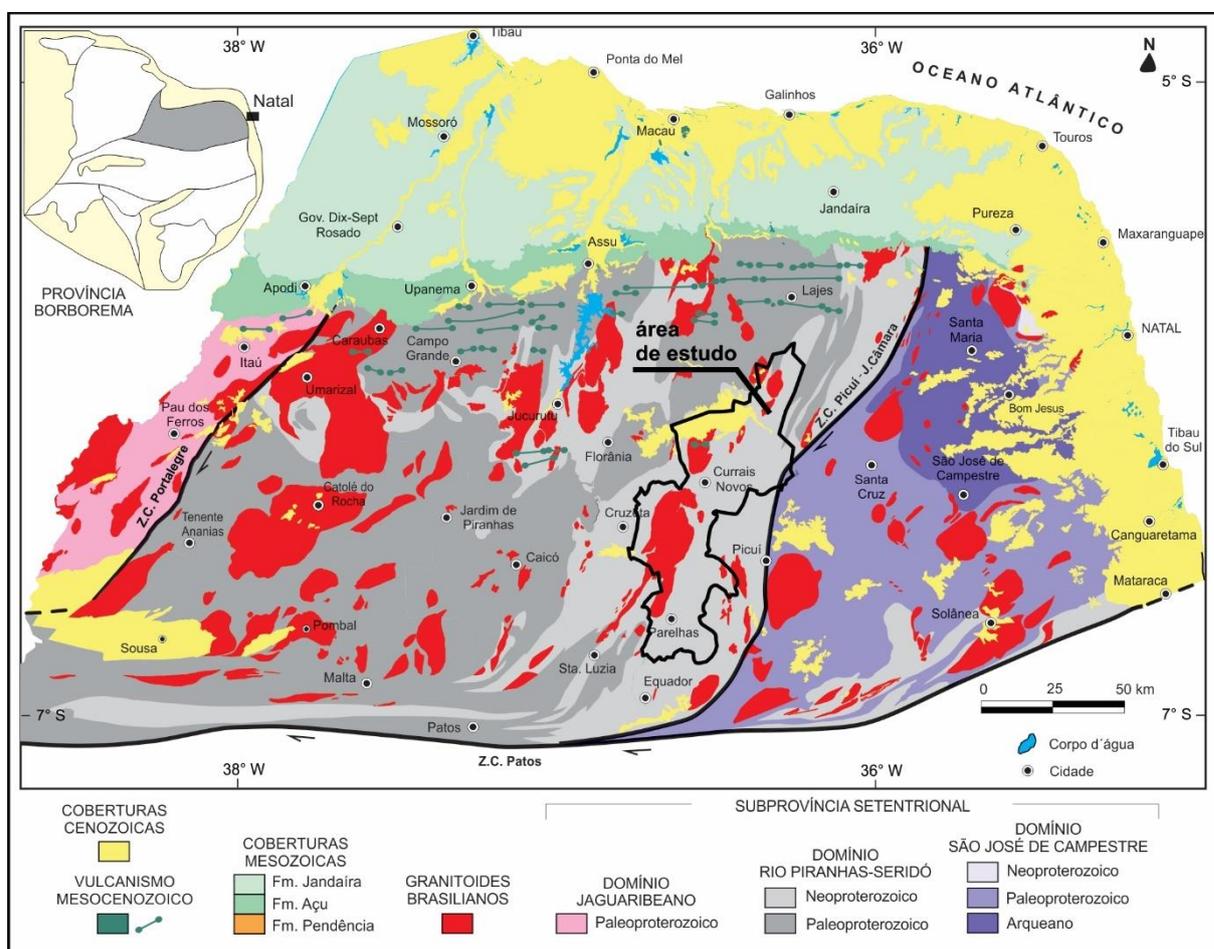


Figura 9 – Domínios tectônicos e principais estruturas da Subprovíncia Setentrional segundo a definição de Medeiros (2008) com a localização da área deste estudo.

O domínio compreende um embasamento composto por uma sequência metavulcanossedimentar intrudida por um cortejo de metaplutônicas gnáissicas/migmatíticas, de idade paleoproterozoica. Também está incluída neste contexto a Faixa Seridó, sobretudo na parte leste do domínio e que compreende rochas metassedimentares plataformais a turbidíticos, com meta-vulcânicas subordinadas, pertencentes ao Grupo Seridó (Angelim *et al.* 2006).

2.2 GEOLOGIA LOCAL

Localmente na área desta dissertação podem-se distinguir oito agrupamentos geológicos distintos, que datam desde o Paleoproterozoico ao Recente (figuras 10 e 11). O embasamento é composto por rochas metamórficas de alto grau (Complexo Caicó), que é sobreposto por supracrustais neoproterozoicas (Grupo Seridó).

Há ocorrências de magmatismos intrusivos e extrusivos no Ediacarano, Cambriano, Cretáceo Inferior e Paleogeno. O registro geológico é completado por arenitos, conglomerados do Neogeno, além de coberturas quaternárias.

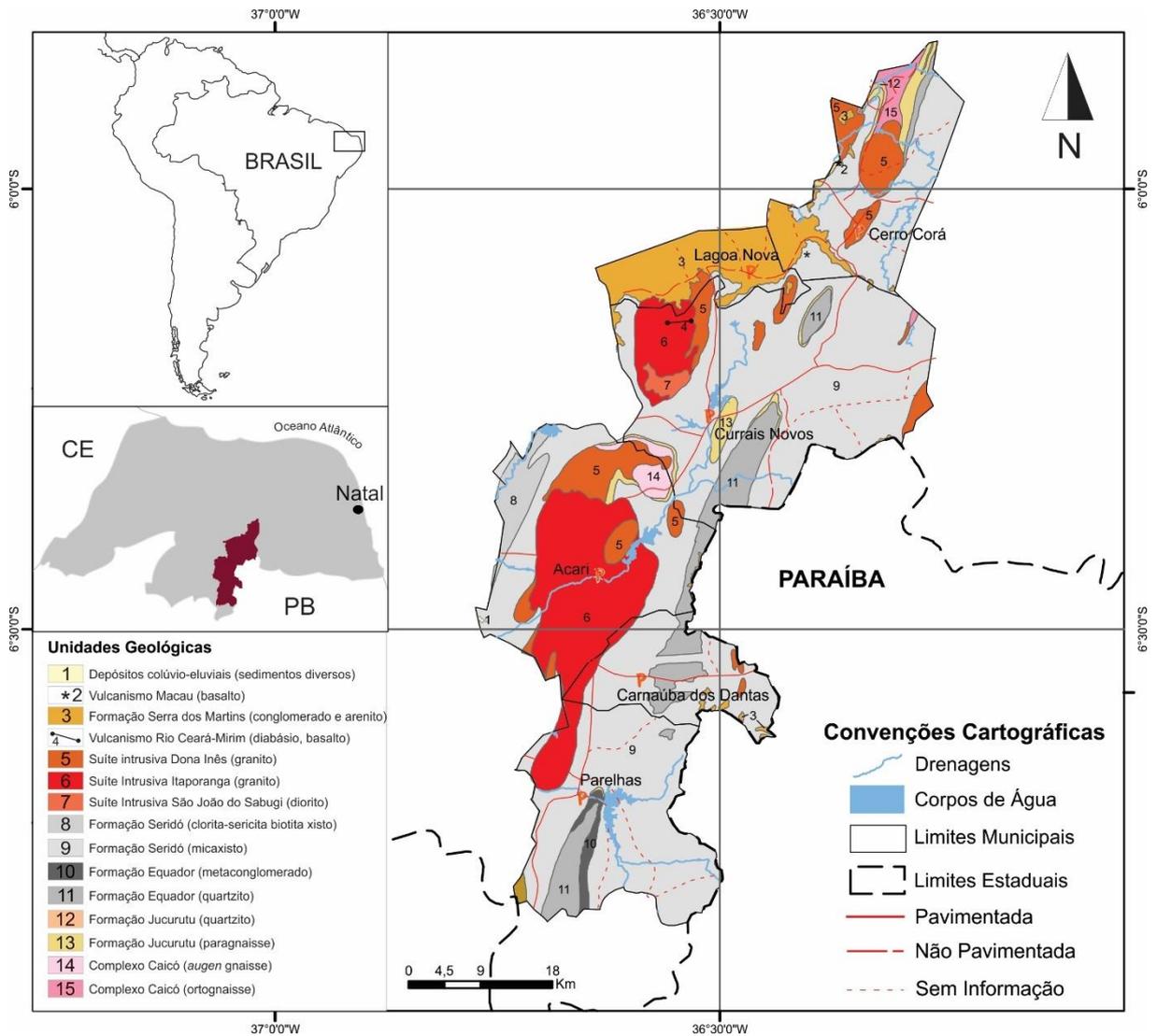
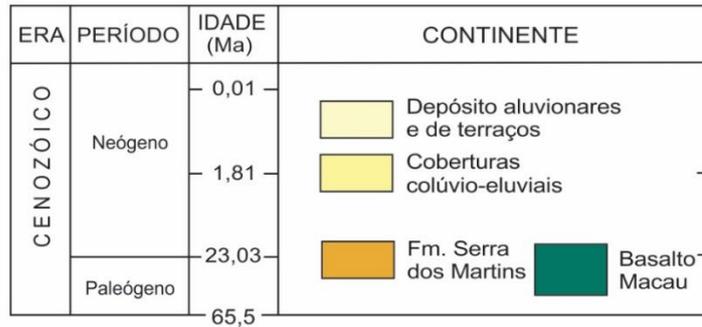


Figura 10 – Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Angelim *et al.* (20016).

RELAÇÕES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS

DEPÓSITOS CENOZÓICOS



MAGMATISMO CRETÁCEO

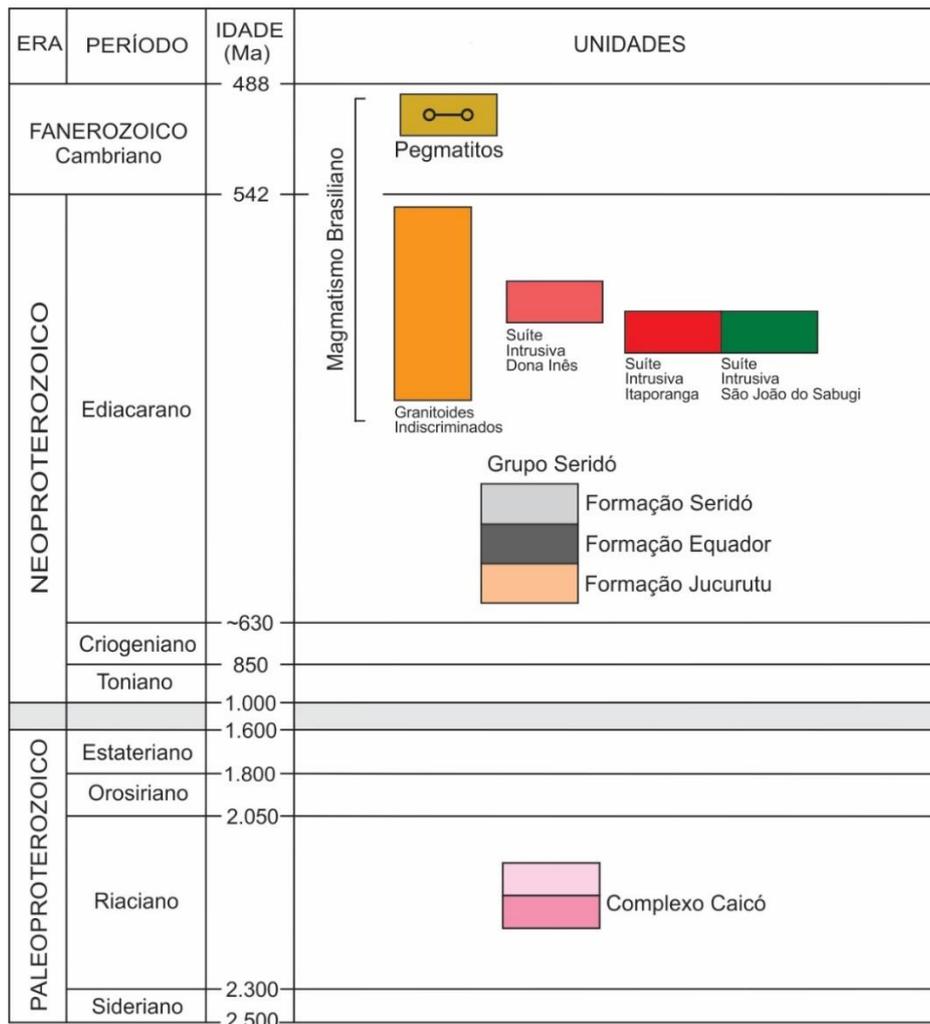
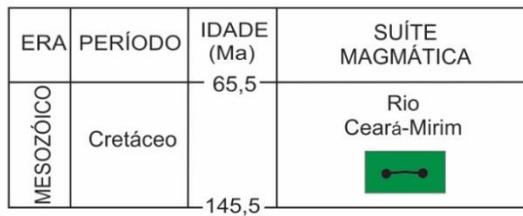


Figura 11 – Coluna litoestratigráfica da área de estudo. Adaptado de Angelim *et al.* (2006) para a área de estudo.

2.2.1 Complexo Caicó

O embasamento ocorre de forma restrita na área desta pesquisa em pequenas porções ao norte e ao centro da região. O Complexo Caicó foi primeiro descrito por Meunier (1964) como uma unidade com alternância entre gnaisses e quartzitos.

Atualmente, entende-se esta unidade com uma grande diversidade de rochas, tais como paragnaisses, anfibolitos, quartzitos ferríferos, formações ferríferas, gnaisses bandados e migmatitos. Além de ortognaisses tonalíticos-granodioríticos-graníticos, leuco-ortognaisses graníticos com lentes de rochas anfibolíticas e *augen* gnaisses (Nascimento & Ferreira, 2012).

Medeiros *et al.* (2012) datam ortognaisses correlatos aos da área deste estudo em 2,2 Ga, do Período Riáciano. Os autores também identificam as rochas como ácidas, com assinaturas entre as séries alcalina e cálcio-alcalina.

Jardim de Sá (1994) define o Complexo como o embasamento da Faixa Seridó, sendo composto por rochas gnáissico-migmatíticas. O trabalho de Souza *et al.* (2007) aponta ainda uma analogia de ambiente das rochas metaplutônicas do Complexo Caicó com os granitoides da margem continental dos Andes, de acreção crustal.

2.2.2 Grupo Seridó

Objeto de estudos na literatura especializada há, pelo menos, cinco décadas, o Grupo Seridó constitui uma faixa de rochas supracrustais dobradas cuja deformação está associada com o Ciclo Brasileiro. Há um *trend* principal de orientação NNE desta unidade. Atualmente, o empilhamento da unidade considera a Formação Jucurutu na base, sobreposta pela Formação Equador e a Formação Seridó, no topo.

Jardim de Sá (1994) apresenta, em seu clássico trabalho sobre a Faixa Seridó, três fases de deformação que afetam a unidade. Um primeiro evento (D_1) que gerou o bandamento composicional S_1/S_2 , o segundo (D_2) gerou as macrodobras e o terceiro (D_3) a verticalização das camadas.

Em termos de metamorfismo, as rochas do Grupo Seridó possuem evidências de fácies xisto verde e anfibolito (Angelim *et al.* 2006).

A partir da análise de zircões detríticos, Van Schmus *et al.* (2003) colocam que a janela de tempo para a deposição dos sedimentos siliciclásticos originários do Grupo Seridó foi de 650 a 610 Ma, representando um empilhamento de vários quilômetros de sedimento no Neoproterozoico, pouco antes da orogenia Brasileira, que os deformaram.

A seguir, são apresentadas as descrições das formações que compõem o grupo.

- Formação Jucurutu

A base do Grupo Seridó é composta essencialmente de paragneisses, com composições variáveis de biotita, epidoto e anfibólio, tendo ainda rochas como calcissilicáticas, *skarns*, micaxistos, quartzitos, formações ferríferas, metavulcânicas básicas e intermediárias, metaconglomerados basais e possíveis níveis de metacherts (Angelim *et al.* 2006).

Jardim de Sá (1994) reconhece um ambiente de deposição marinho raso a continental para os pacotes metassedimentares que compõem a Formação Jucurutu.

Nesta unidade é que são encontradas importantes ocorrências minerais-minério de scheelita, principal objeto de exploração mineral na região.

- Formação Equador

Compreende, principalmente, muscovita quartzitos, apresentando fácies arcoseanas e intercalações com metaconglomerados, depositados através de uma sedimentação marinha rasa (Angelim *et al.* 2006).

- Formação Seridó

É tida como a principal unidade da Faixa Seridó, sendo representada por micaxistos feldspáticos ou aluminosos. Na base da unidade ocorrem intercalações de mármore, rochas calcissilicáticas, paragneisses, rochas metavulcânicas, quartzitos e metaconglomerados.

A deposição é interpretada por Jardim de Sá (1994) como tipicamente associadas a plataforma distal ou talude.

O metamorfismo chegou a médio e alto grau, resultando em rochas bastante deformadas, e apresentando associações com estauroлита, andalusita, cordierita e silimanita. (Angelim *et al.* 2006).

2.2.3 Suítes Intrusivas

A região possui diversas evidências de eventos magmáticos intrusivos, representados por plútons de destaque geomorfológico na paisagem do Seridó potiguar.

Os principais eventos remontam ao Ediacarano, em magmatismo sin a pós Orogenia Brasileira. Considera-se nesta pesquisa três suítes majoritárias: São João do Sabugi, Itaporanga e Dona Inês.

- São João do Sabugi

São rochas plutônicas básicas a intermediárias, apresentando cor cinza a preta, com granulação fina a média. São essencialmente: gabros, gabro-noritos, dioritos, quartzo-dioritos, monzodioritos, monzonitos, quartzo monzonitos, tonalitos e granodioritos (Angelim *et al.* 2006).

Em trabalho com rochas correlatas à esta suíte Sá *et al.* (2014) indica que o protólito para essas rochas é de idade paleoproterozoica a neoarqueano, com forte contaminação crustal. Em relação à geocronologia, Costa *et al.* (2015) apresentam idade de 557 Ma para o Plúton Serra da Rajada, localizado na parte norte da área deste estudo e que está relacionado com esta suíte plutônica.

- Itaporanga

Trata-se do grupo de corpos ígneos com alta frequência de ocorrência no território, representativo de um importante evento magmático do Ciclo Brasileiro. São monzogranitos, apresentando variações a quartzo monzonitos, sienogranitos ou granodioritos. A sua textura porfirítica é a principal característica dessas rochas na região (Angelim *et al.* 2006).

Sá *et al.* (2014) apontam a idade de cristalização em 574 Ma, a partir de análise U-Pb no Batólito de Pereiro, não localizado na área deste estudo, mas também compreendido por essa suíte.

- Dona Inês

Esta suíte ocorre sob a forma de *sheets*, diques e *sills* ou associada com a Suíte Itaporanga. São monzogranitos e tonalitos, equigranulares de granulação fina a média, apresenta, por vezes, variações microporfiríticas e fácies com textura grossa transicionando para pegmatítica (Angelim *et al.* 2006).

Farias *et al.* (2011) apresentam uma idade de 592 ± 6 Ma obtida por análise SHRIMP de zircões em granitoides cálcio-alcálicos pós-colisionais de assinatura semelhante aos da Suíte Dona Inês, no Domínio Tectônico Norte da Borborema.

A tabela 2 apresenta uma síntese das principais características encontradas na literatura sobre as suítes presentes na região, no contexto do Domínio Rio Piranhas-Seridó da Província Borborema.

Tabela 2 – Descrição sistemática das suítes intrusivas encontradas na região deste projeto, com características litológicas, químicas e geocronológicas.

Suíte	Litologia	Características Litoquímicas	Idade (U-Pb)
São João do Sabugi	Gabros/noritos, dioritos, monzonitos, tonalitos e granodioritos	SiO ₂ = 46,7 – 61,5% Na ₂ O + K ₂ O = 1,6 – 11,5% CaO = 3,0 – 9,9%	557 ± 13 Ma
Itaporanga	Monzogranitos, monzonitos, sienogranitos e granodioritos	SiO ₂ = 62,0 – 76,1% Na ₂ O + K ₂ O = 6,4 – 12,4% CaO = 0,6 – 4,1%	574 ± 34 Ma
Dona Inês	Monzogranitos e tonalitos	SiO ₂ = 66,7 – 76,5% Na ₂ O + K ₂ O = 4,4 – 11,5% CaO = 0,5 – 4,0%	592 ± 6 Ma

Compilado de Angelim *et al.* (2006), Farias *et al.* (2011), Sá *et al.* (2014), Costa *et al.* (2015) e Nascimento *et al.* (2015a).

2.2.4 Diques Pegmatíticos

Os pegmatitos encontrados na área em estudo estão, preferencialmente, encaixados nos micaxistos da Formação Seridó, se restringindo, em geral, à região de ocorrência desta unidade. São classificados em homogêneos, heterogêneos e mistos.

São feições de destaque na topografia local, mas possuem dimensões reduzidas. São compostos por megacrístais de microclina, plagioclásio, quartzo, muscovita e biotita, esta última sendo menos frequente (Angelim *et al.* 2006).

Nascimento *et al.* (2015a) apontam que estes pegmatitos estão datados entre 515 – 510 Ma, são, portanto, ocorrências do Cambriano.

Os pegmatitos da região da Faixa Seridó também são conhecidos como componentes da Província Pegmatítica do Seridó e possuem mineralizações de água marinha, turmalina, berilo e tantalita, por exemplo. Alguns corpos são conhecidos na literatura e possuem exploração ativa, como mostra o trabalho de Santos *et al.* (2016).

2.2.5 Vulcanismo Rio Ceará Mirim

Estabelecido no contexto fase rifte da Bacia Potiguar, compreende diques basálticos de direção E-W intrudidos no embasamento. Foi datado em cerca de 130 Ma e sua maior expressão se dá em enxame na borda sul da bacia (Angelim *et al.* 2006).

Na área deste projeto, é possível encontrar diques de extensões métricas ao sul da Serra de Santana.

2.2.6 Formação Serra do Martins

Unidade composta por rochas sedimentares cenozoicas encontradas capeando serras, formando chapadas com relevo plano a levemente ondulado, com escarpas abruptas e contornos irregulares, apresentando altitudes em torno de 700 m (Angelim *et al.* 2006). Na área norte deste projeto, essa unidade ocorre no topo da Serra de Santana, importante feição geomorfológica.

São arenitos de granulometria grossa, com laminações incipientes. No topo, geralmente são encontrados concreções ferruginosas e depósitos de tálus de 1 a 2 m de espessura. Em geral, a Formação Serra do Martins não ultrapassa os 50 m de espessura nos platôs das Serras e é tida como afossilífera, tendo sua idade de deposição atribuída ao intervalo entre o Oligoceno Superior e o Mioceno Inferior.

Menezes (1999) fez a análise sedimentológica e estrutural da Formação Serra do Martins e apresentou o perfil estratigráfico da figura 12 para a Serra de Santana.

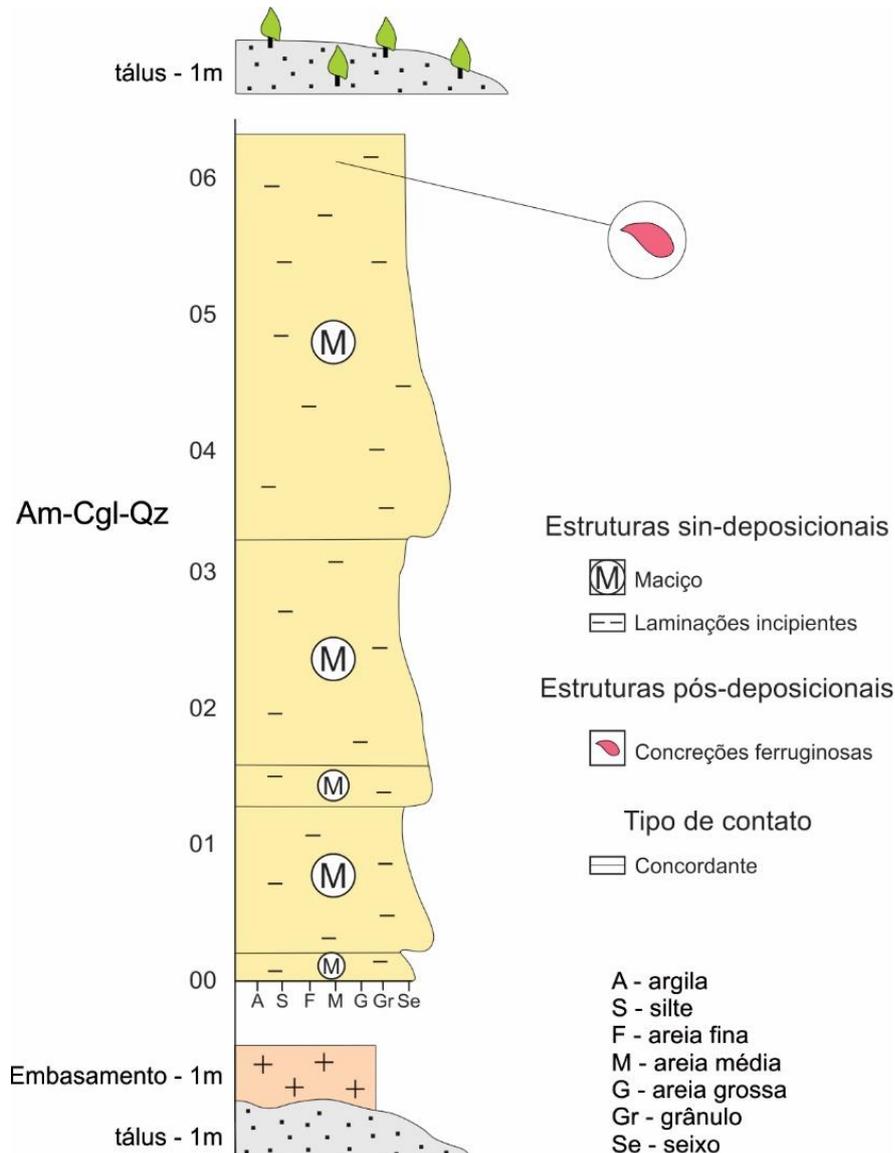


Figura 12 – Perfil estratigráfico da Serra de Santana. Compilado de Menezes (1999).

2.2.7 Vulcanismo Macau

Evento mais recente de vulcanismo registrado no contexto geológico do Rio Grande do Norte, é datado em média por 25 Ma (Silveira 2006), e se estende por cerca de 100 km na região centro-norte do estado. São rochas alcalinas como olivina basaltos, basanitos, ankaratritos e nefelinitos, raros nódulos de peridotitos, com granulação fina a afanítica, podendo apresentar textura vesicular. Ocorrem sob a forma de derrames, diques, *plugs* e *necks*, sendo o exemplo mais conhecido o *neck* do Pico do Cabugi (Angelim *et al.* 2006).

Na área do Geoparque Seridó, o Basalto Macau é encontrado sob a forma de disjunções colunares na encosta da Serra de Santana, entre os municípios de Cerro Corá e Lagoa Nova.

2.2.8 Depósitos Colúvio-Eluviais

São representados por sedimentos arenosos a arenoargilosos, de cor esbranquiçada a avermelhada, apresentando, às vezes, deposição de seixos de quartzo oriundos do retrabalhamento dos sedimentos da Formação Serra do Martins (Angelim *et al.* 2006).

2.2.9 Depósitos Aluvionares

São caracterizados pela deposição de sedimentos arenosos a cascalhosos construídos, principalmente, ao longo dos vales fluviais (Angelim *et al.* 2006).

2.3 GEODIVERSIDADE

Ao longo do século XX a preocupação com o meio ambiente e de todos os seus componentes tornou-se um objeto de estudo dos pesquisadores que trabalham com os recursos naturais.

A proteção e uso sustentável da diversidade natural, aqui entendida como o conjunto dos elementos abióticos e bióticos da natureza, passou a ter grande destaque na ciência e nos processos de tomada de decisão por gestores e demais autoridades em todo o mundo.

Assim, a matéria viva do planeta, conhecida como biodiversidade, teve grande destaque nas ações. Até os dias atuais é comum, desde os ensinamentos primários da educação formal o entendimento por parte das crianças do que constitui a diversidade biótica da natureza, que são os seres vivos (fauna e flora).

Em paralelo com o impacto das ações de proteção da diversidade biótica, começou a haver uma busca por uma maior compreensão do que seria a base da vida no globo e da necessidade de também proteger essa que é a moradia de milhares de famílias de seres vivos.

Com isso, como revela Gray (2008), surge a partir das discussões em torno da biodiversidade, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, no Rio de Janeiro, uma preocupação com base da vida, que são os constituintes abióticos da natureza.

A importância clara de tais elementos para o estabelecimento e manutenção das condições do ecossistema é o ponto de gatilho na criação de um conceito paralelo ao da biodiversidade e que, juntamente com este, compreenda todo o conjunto do meio ambiente. Assim, surge o termo geodiversidade.

Sharpley (1993) define a geodiversidade como os elementos da Terra e seus sistemas. Esta definição é apontada como uma das primeiras ocorrências do termo e delineou as que vieram em seguida.

Stanley (2003) relaciona a geodiversidade com o *link* entre as pessoas, paisagens e culturas por meio da interação da biodiversidade, solos, minerais, rochas, fósseis, água, vento, gelo e o ambiente construído por esses fatores.

Já para Gray (2004), a geodiversidade é a variedade natural (diversidade) de elementos geológicos, geomorfológicos e do solo, incluindo as suas assembleias, relações, propriedades, interpretações e sistemas.

Brilha (2005, pág. 18) indica que “a geodiversidade compreende apenas aspectos não vivos do nosso planeta. E não apenas os testemunhos provenientes de um passado geológico

(minerais, rochas, fósseis) mas também os processos naturais que actualmente decorrem dando origem a novos testemunhos”.

Serrano & Ruiz-Flaño (2007) definem teoricamente a geodiversidade como a variedade da natureza abiótica, incluindo elementos litológicos, tectônicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos e topográficos, como também os processos físicos que agem sobre a superfície terrestre, no continente ou nos mares e oceanos, juntamente com os sistemas gerados por processos, naturais, endógenos ou exógenos, e antrópicos, o que compreende a diversidade de partículas, elementos e lugares.

Em trabalho mais recente, Gray (2013) atualiza sua definição e classifica a geodiversidade como a variedade natural (diversidade) de elementos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (formas de relevo, topografia, processos físicos), do solo e hidrológicos. Inclui também suas assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para as paisagens.

Dessa forma, podemos, em suma, entender que a diversidade abiótica do planeta é composta por todos os elementos geológicos que formam o meio ambiente, que são fundamentais para o desenvolvimento da vida e do próprio planeta e constituem uma importante parte do ecossistema global. São exemplos de elementos da geodiversidade: minerais, rochas, fósseis, água, paisagens, solos, estruturas geológicas, processos naturais, entre outros.

É possível estabelecer uma relação entre a biodiversidade e a geodiversidade, passando-se a entender a unidade destes elementos como fundamentais para o estabelecimento do que se compreende por diversidade natural. Neste sentido, Gray (2013) apresenta o gráfico resumo da figura 13 que mostra o desenvolvimento da vida no planeta após o estabelecimento da crosta terrestre.

Desta forma, entende-se que a geodiversidade disponibilizou o substrato essencial para que ocorresse o aumento intenso do número de famílias de seres vivos a partir dos últimos 800 milhões de anos.

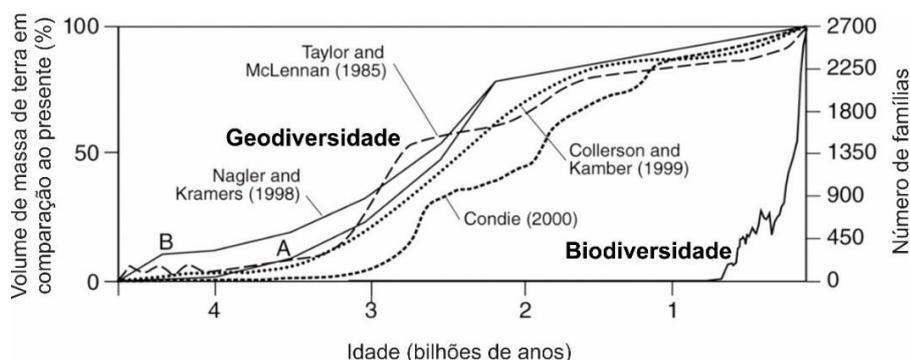


Figura 13 – Curvas teóricas da evolução da geodiversidade e da biodiversidade ao longo da história da Terra de acordo com diversos autores. Traduzido de Gray (2013).

Portanto, a diversidade biótica hoje conhecida na Terra só foi possível porque processos geológicos, tipicamente abióticos, criaram ambiente favorável para que as espécies evoluíssem e se expandissem. Disto, evidencia-se a necessidade de proteção do meio ambiente completo, representado tanto pela biodiversidade como a geodiversidade.

2.3.1 Valores da Geodiversidade

No que concerne aos estudos da natureza, o estabelecimento de valores para os locais ou elementos é fundamental para o embasamento das ações de preservação ou conservação destes.

Com isto, alguns autores especializados estabeleceram, ao longo dos anos, sistemas de valores para a geodiversidade. Existem sistemas que definem valores qualitativos, muitas vezes considerados subjetivos por depender da interpretação do avaliador, e quantitativos, que lançam mão de modelos matemáticos e ferramentas de geotecnologias, o que colabora para a diminuição da subjetividade da avaliação.

Um dos primeiros métodos de avaliação qualitativa e que até hoje é bastante utilizado é o definido por Gray (2004), que elucida seis valores (intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional e científico) e 32 subvalores para a geodiversidade.

Gray (2013) criou um modelo relacionando os serviços ecossistêmicos da natureza com a diversidade abiótica do planeta. Assim, o método do autor possui um valor (intrínseco), cinco serviços (conhecimento, cultural, provisão, regulação e suporte), tendo também 25 bens e processos associados.

Em relação a valores quantitativos, existem diversas metodologias, que aplicam conhecimento de cartografia ou de bonificação por ponderação de quesitos. Exemplos disto são os métodos de Ruban (2010), Pereira *et al.* (2013), Melelli (2014), Brilha (2016) e outros.

2.3.2 Patrimônio Geológico

Da interpretação dos valores da geodiversidade, passa-se a constituir o chamado patrimônio geológico, definido por Brilha (2005) como o conjunto de “ocorrências geológicas que possuem inegável valor científico, pedagógico, cultural, turístico ou outros”.

Brocx & Semeniuk (2007) classificam patrimônio geológico como locais de ocorrência internacional, nacional ou regional que possuem atributos ígneos, metamórficos, sedimentares, estratigráficos, estruturais, geoquímicos, mineralógicos, paleontológicos, geomorfológicos, pedológicos ou hidrológicos, que são sítios importantes intrinsecamente ou culturalmente, e que

oferecem informação sobre a formação e evolução da Terra para a escrita da ciência, desenvolvimento de pesquisa ou educação.

A ProGEO, Associação Europeia para a Conservação do Patrimônio Geológico, assim define o termo: parte integral do patrimônio natural global que compreende os lugares e objetos especiais que possuem um papel chave na compreensão da história da Terra. Isso inclui as rochas, minerais, fósseis e paisagens. Nestes locais e objetos há informação especial sobre a evolução orgânica e inorgânica que ocorreu no planeta ao longo de sua história (ProGEO 2011).

Brilha (2016) indica que o termo patrimônio geológico refere-se a ocorrências *in situ* da geodiversidade com alto valor científico ou ocorrências *ex situ* que, mesmo tendo sido retiradas de seus locais naturais de ocorrência mantêm seu valor científico relevante.

Nascimento *et al.* (2008a) frisam que apesar de estar relacionado com a geodiversidade, o conceito de patrimônio geológico não constitui um sinônimo desta. De fato, para constituir um patrimônio, um elemento precisa possuir características de destaque, que lhe atribuam valor acima da média e que, por isso, necessite de uma proteção mais acurada ou ainda embase as ações para sua conservação.

Na literatura e estudos especializados é comum observar a classificação do patrimônio geológico em tipos. Ainda, frisa-se aqui o entendimento que o patrimônio geológico como uma parte da geodiversidade compreende todos os elementos da natureza abiótica que possuem um valor associado acima da média.

Neste entendimento, pode-se classificar o patrimônio geológico de acordo com seu conteúdo (García-Cortés 1996, Nascimento *et al.* 2008a, Ponciano *et al.* 2011), sendo os principais tipos os que seguem:

- *Coleções*: associado com os elementos da geodiversidade existentes em coleções científicas, didáticas ou educativas, contanto que sejam de acesso público;
- *Estratigráfico*: representado pelos pacotes rochosos, ou estratos, e suas diferentes características;
- *Estrutural*: inclui as estruturas formadas por processos de tensão na crosta, como dobras, falhas e fraturas;
- *Geomorfológico*: formas de relevo e da paisagem;
- *Geoquímico*: compreende amostras geoquímicas de alto valor e representatividade científicos;
- *Hidrológico*: representa os elementos hídricos;
- *Mineralógico*: é composto pelos minerais;

- *Paleontológico*: compreende todo o material fóssil;
- *Pedológico*: cada perfil de solo possui características próprias e funções dentro do ecossistema, às vezes únicas, por isso constitui um tipo de patrimônio geológico;
- *Petroológico*: inclui as rochas;
- *Sedimentológico*: representa os diversos sedimentos, classificados por sua mineralogia, granulometria e arredondamento, por exemplo.

A figura 14 sintetiza a compreensão deste trabalho sobre patrimônio geológico e suas classificações.

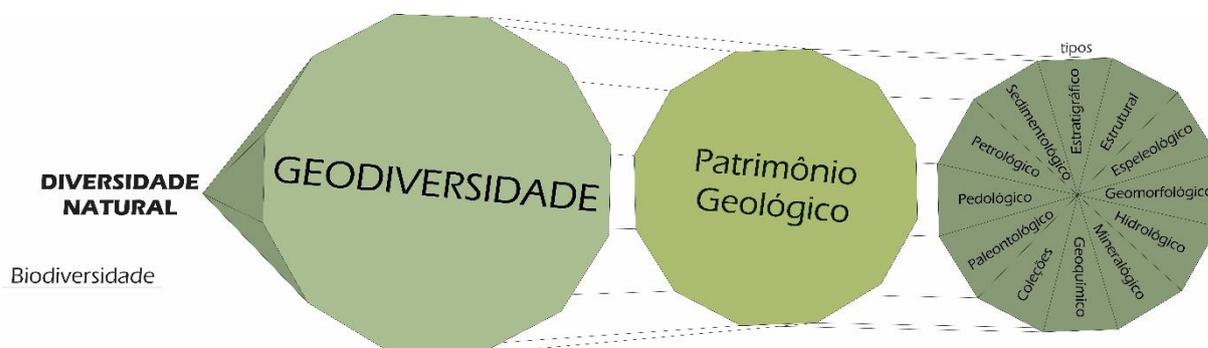


Figura 14 – Síntese esquemática e hierarquização do patrimônio geológico e seus tipos.

A geodiversidade, englobando os diferentes tipos de patrimônio geológico, agrega ferramentas e demonstra diferentes possibilidades de aplicação. O primeiro e mais importante é o uso de suas bases na promoção de um desenvolvimento sustentável que lance mão de um manejo consciente dos recursos naturais, considerando não apenas os elementos bióticos da natureza, mas também a base de toda a vida.

Guimarães & Liccardo (2014) apontam outra possibilidade que é o uso didático dos elementos da geodiversidade na divulgação dos conhecimentos geocientíficos, associando-os ao entendimento até mesmo do estabelecimento da vida no planeta. Os autores afirmam ainda que este conhecimento “deve ser um fator de educação geral e também de cultura para a sociedade [...]”.

Da mesma forma que a biodiversidade é atualmente um termo amplamente conhecido por toda a sociedade, a geodiversidade possui, em paralelo, sentido semelhante no que tange os estudos da natureza. É portanto, imprescindível, a sua utilização nas geociências e áreas correlatas. Assim, poderá ser atingido o patamar de divulgação e conscientização em que hoje se encontra a proteção e demais ações que envolvem os seres vivos.

2.4 GEOCONSERVAÇÃO

Como resultado de toda atividade humana, impactos sobre a natureza e seus recursos são inerentes. Da mesma forma, o ambiente em que toda a biodiversidade, o ser humano incluído, se estabeleceu é também impactado. Este ambiente é essencialmente composto pela geodiversidade que, portanto, sofre também os efeitos. Os elementos abióticos da natureza também estão susceptíveis aos processos naturais do ecossistema que da mesma forma podem afetar suas condições.

Gray (2013) sumariza, neste contexto, os principais impactos sofridos pela geodiversidade, que são:

- Perda completa de um elemento da geodiversidade;
- Perda parcial ou dano físico;
- Fragmentação do interesse;
- Perda da visibilidade ou intervisibilidade;
- Perda do acesso;
- Interrupção dos processos naturais e impactos externos;
- Poluição;
- Impacto visual.

No mesmo trabalho, o autor relaciona as principais ameaças à geodiversidade, para ele são: exploração mineral, desenvolvimento e expansão urbana, erosão e proteção costeira, manejo de rios, engenharia hidrológica, silvicultura, crescimento vegetal, agricultura, atividades turísticas, coleta de espécimes geológicos, mudanças climáticas e no nível do mar, incêndio, atividades militares e a falta de informação/educação.

De toda essa ampla lista, que pode ser ampliada diariamente, a ameaça que possivelmente mais afeta negativamente os elementos da natureza abiótica é a falta de informação e de educação ambiental que seja voltada ao meio físico. Disto acarretam as pichações em afloramentos, a retirada aleatória de amostras, o acúmulo de lixo, entre inúmeras outras. Ações que se mostram como resultados da ignorância das sociedades sobre a importância do meio físico para os ecossistemas e para o próprio ser humano.

Ainda sobre as ameaças ao meio físico, Hjort *et al.* (2015) apresentam um quadro síntese (tabela 3) com as principais e suas consequências, ou impactos, sofridos em nível de sítio e em nível mais amplo.

Tabela 3 – Principais ameaças antrópicas à geodiversidade e exemplos de impactos.

Fonte: Hjort *et al.* (2015)

Ameaças	Exemplos de impactos <i>in situ</i>	Exemplos de impactos mais amplos na geodiversidade
Urbanização, construção de parques eólicos e atividades relativas	Destruição das formas do relevo, fragmentação da integridade do sítio e perda das relações entre elementos, interrupção dos processos geomorfológicos, mudanças no regime dos solos e da água	Contaminação dos cursos de água, mudanças nos processos geomorfológicos a jusante, decorrentes da canalização de cursos d'água ou extração de água
Mineração e extração mineral	Destruição das formas do relevo e exposição de sedimentos e rochas, destruição de solos, estruturas do solo e biota	Mudança no fornecimento de sedimentos para os sistemas de processo ativo que levam ao aumento da erosão em sistemas fluviais e costeiros, contaminação de águas subterrâneas
Alterações no uso e gestão territorial	Dano às formas de relevo através de aragem, nivelamento e drenagem do solo, erosão do solo, mudanças na química do solo e no regime de água do solo, compactação do solo, perda de matéria orgânica	Aumento na produção de sedimentos e velocidade de deslocamento de bacias hidrográficas, erosão do solo episódica, levando ao aumento da sedimentação e contaminação química em rios, lagos e cavernas, secagem de áreas úmidas por meio de drenagem local e distal
Proteção costeira e gestão e engenharia hídrica	Dano às formas de relevo e exposição de sedimentos e rochas, interrupção dos processos costeiros e fluviais, inibição da erosão degrada as exposições	Mudanças amplas no fornecimento e transporte sedimentar, mudanças no regime do processo
Atividades offshore	Dano físico às formas do relevo e sedimentos, interrupção dos processos físicos aquáticos, em nível superficial ou subsuperficial e penetração	Mudanças no movimento sedimentar e processos hidrodinâmicos
Recreação e geoturismo	Fragmentação da integridade do sítio, erosão por pegadas e outras erosões localizadas no solo e perda de matéria orgânica no solo	-
Mudança climática	Mudanças nos processos ativos do sistema e em seu estado	Mudança na sensibilidade dos ambientes modeladores da paisagem
Aumento do nível do mar	Perda de visibilidade e de acesso às exposições costeiras e afloramentos por submersão, perda de exposições por erosão aumentada	Mudanças nos padrões amplos de erosão e deposição, aumento de inundações
Restauração de poços e pedreiras	Perda de exposições e formas de relevo naturais	-
Coleta irresponsável de fósseis e minerais	Dano físico às exposições rochosas e perda de registro fóssil	-

Para Gray (2013), uma vez que a geodiversidade tem valores atribuídos e que sofre com ameaças das atividades antrópicas ou naturais, possui, dessa forma, uma necessidade de conservação. Da proteção dos lugares de interesse geológico, surgem as ações de conservação da natureza abiótica, que são compreendidas pela geoconservação.

A indispensabilidade de proteção dos elementos abióticos da natureza vem da ameaça de seu esgotamento ou mesmo da perda irreparável de seu registro. Disto demandam ações de conservação da geodiversidade, ou geoconservação, definida por Burek & Prosser (2008) como a tomada de ações com a intenção de conservar e aprimorar os elementos geológicos e geomorfológicos, processos, lugares e espécimes.

Prosser (2013) entende a geoconservação como um conjunto de ações que visam à conservação dos lugares, processos e elementos geológicos, pedológicos e geomorfológicos, através de atividades de divulgação, levantamento, resgate ou registro.

As ações de geoconservação devem ser mais amplas do que simplesmente o ato de recuperar áreas degradadas, devem ter foco também no desenvolvimento sustentável das comunidades em que os elementos da geodiversidade estão presentes, se relacionando com o cotidiano da natureza e do ser humano.

Para Brilha (2005), a geoconservação deve ser implementada através de metodologias que visem o aprimoramento e melhoria das ações de proteção do meio ambiente. Para isso, o autor define sete etapas que devem ser sequencialmente concluídas: inventariação, quantificação, enquadramento, conservação, valorização, divulgação e monitoramento.

Dessa forma, precisa-se ter um amplo registro e caracterização dos locais de interesse geológico para construir um forte embasamento que sustente a necessidade de sua conservação.

Contudo, é importante frisar que não é possível, nem necessário, fazer a conservação de todos os elementos da geodiversidade. Uma vez que as sociedades humanas e a própria natureza necessitam dos elementos abióticos do meio ambiente para seu estabelecimento e desenvolvimento, é irracional pensar que toda a geodiversidade possa ser conservada.

Assim, as ações de geoconservação devem ser voltadas para aqueles exemplares mais importantes, mais significativos, que tenham relação com a ciência ou com a cultura humana, ou ainda que sejam locais e elementos fundamentais para a estabilidade das condições naturais do ecossistema. Em suma, deve haver foco principal na conservação do patrimônio geológico.

Brilha (2016) considera que apenas uma pequena fração da natureza abiótica possui valores relevantes que justifiquem a implementação de estratégias de geoconservação, o que vai de encontro com o entendimento mais generalizado na literatura e acaba por desconsiderar

diversos locais importantes geologicamente por motivos que não necessariamente científicos. Contudo, a metodologia deste autor tem sido bastante referenciada atualmente e trata, portanto, da classificação dos lugares de interesse geológico a partir de seus valores, que é também uma etapa essencial na definição das ações de conservação. A figura 15 esquematiza o sistema de classificação do autor que fundamenta sua discussão sobre a geoconservação.

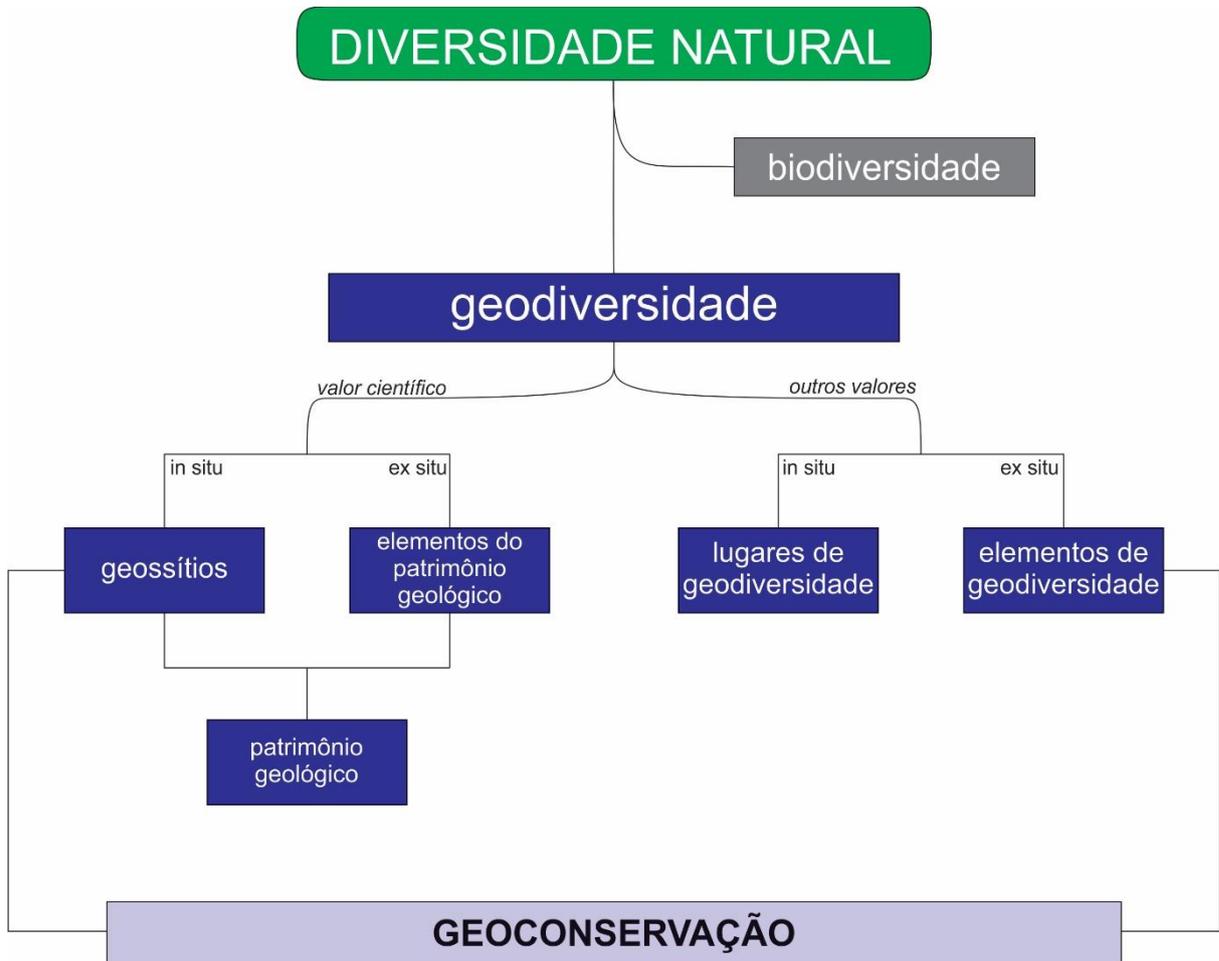


Figura 15 – Classificação da geodiversidade de acordo com os valores. Traduzido de Brilha (2016).

Atualmente, já são vários os exemplos de ações de geoconservação que ocorrem em todo o mundo. Há um destaque maior, entretanto, nas que foram implementadas na Europa, sobretudo Portugal, Espanha e Reino Unido.

Carcavilla *et al.* (2017) apresentam uma metodologia de monitoramento das condições hidrológicas de uma cachoeira na Espanha. Os autores mostram que o uso de instrumentos (figura 16) que meçam as condições naturais dos processos geomorfológicos no local do estudo se torna uma importante ferramenta para a compreensão, conservação e uso público da geodiversidade.



Figura 16 – Instrumentos instalados para o monitoramento das condições hidrológicas da cascata El Chorro de Los Navalucillos, Espanha: A) estação metereológica; B) câmera fotográfica; C) painel informativo; D) parte alta da cachoeira onde foi instalado o limnómetro piezoresistivo (E).
 Fonte: Carcavilla *et al.* (2017).

Por outro lado, o trabalho de Tavares *et al.* (2015), assim como Moreira (2008) e Mansur (2010), apresenta a necessidade, no processo de geoconservação, do envolvimento das comunidades locais. Numa pesquisa realizada no sul de Angola a aplicação de questionários mostrou-se relevante ao passo que demonstraram resultados que reafirmam a integração dos residentes com o ambiente. Logo, a cultura e o cotidiano locais valorizam também a geodiversidade.

Nisto, o trabalho de Tavares *et al.* (2015) propõe que a geoconservação ocorra em duas fases: geração de conhecimento e ações de manejo. Em ambas as etapas, as comunidades locais devem ser integradas.

A primeira fase consta da coleta de informações científicas sobre os locais de interesse geológico, mas também de dados sociológicos, que comprovem a existência de uma identidade local da comunidade com o ambiente. Estas informações podem funcionar no desenvolvimento de ações pedagógicas de divulgação dos conhecimentos sobre a Terra.

Após esta fase de avaliação geológica e sociológica, passa-se à fase de tomadas de decisões, que envolvem o planejamento sobre a capacidade turística dos locais, assim como a necessidade e as formas de proteção do patrimônio geológico existente.

Além de em todas as fases ser necessária a integração da comunidade no modelo apresentado neste trabalho, é importante que sempre haja a comunicação com os diversos atores

do processo, assim com o público externo, de forma a gerar educação ambiental sobre a geodiversidade e sua importância para o ecossistema. A figura 17 apresenta a síntese deste modelo de conservação.

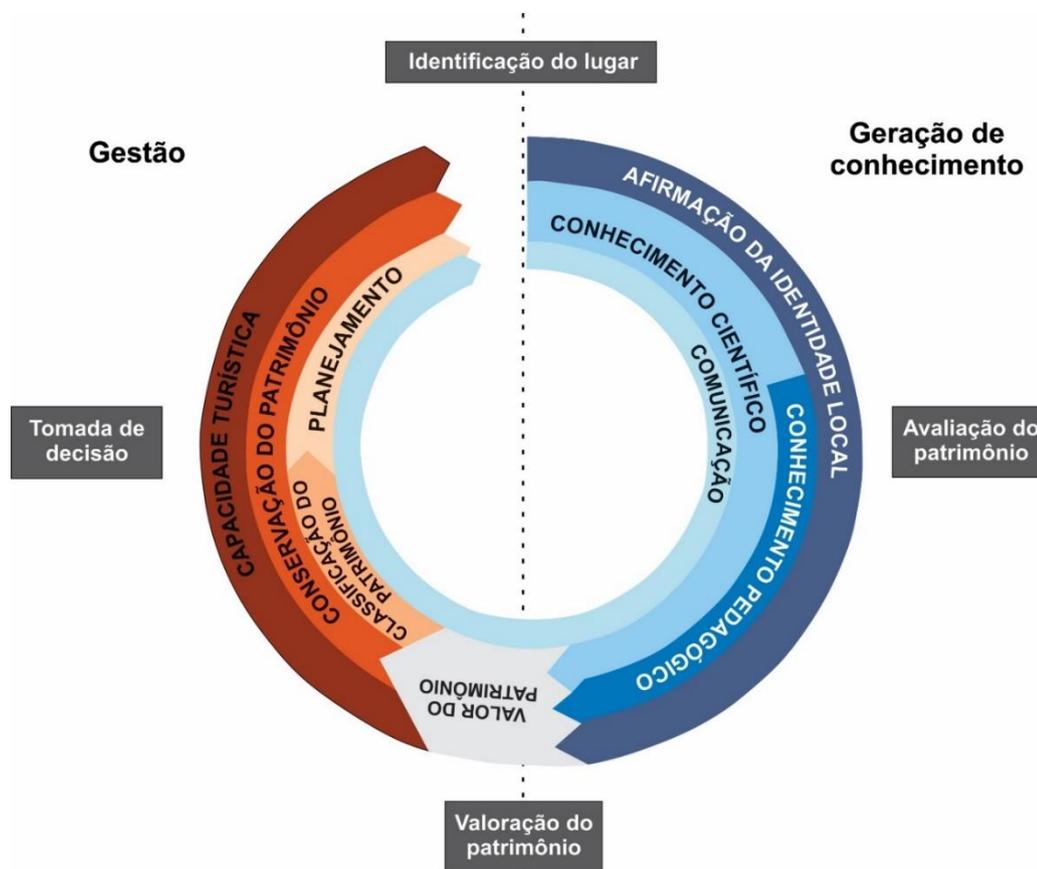


Figura 17 – Modelo conceitual para a geoconservação. Traduzido de Tavares *et al.* (2015).

No Brasil, o trabalho de Borba *et al.* (2015), realizado na cidade de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, apresenta uma abordagem de avaliação da compreensão sobre a geodiversidade. Os autores aplicaram questionários com professores das disciplinas de ciências, geografia e biologia da rede pública de ensino na cidade para avaliar o conhecimento dos docentes sobre a temática da geodiversidade, como também o entendimento deles sobre a diversidade abiótica local.

Como resultado, os autores mostram que os professores não demonstram muito conhecimento sobre geodiversidade, mas que acreditam no potencial dos locais de interesse geológico locais na propagação da educação. Assim, elencam algumas considerações que podem nortear as ações de geoconservação futuras.

Portanto, pode-se ter, nestes exemplos citados, o entendimento que a geoconservação vai muito além das ações físicas de conservação da natureza, integra também a propagação do conhecimento e consciência ambiental sobre o meio físico.

2.5 GEOPARQUES

Uma das ações de geoconservação de maior destaque e sucesso no mundo atualmente é o estabelecimento de geoparques, definidos por Brilha (2009) como regiões com limites bem definidos e que contém um notável patrimônio geológico.

O conceito mais aceito hoje em dia e definido pela UNESCO é que um geoparque é um território onde lugares e paisagens de significância geológica internacional são geridos através de um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável. Um geoparque deve sempre envolver as comunidades locais, que precisam estar envolvidas no processo de seu estabelecimento (UNESCO 2016).

Um geoparque deve ter diversas finalidades e frentes de ação, dentre elas estão: a conservação do patrimônio geológico, assegurar o desenvolvimento sustentável através de atividades ambientalmente corretas, promover a educação ambiental, divulgar os conhecimentos geocientíficos, entre outros.

Neste sentido, Gray (2013) elenca alguns princípios básicos que um geoparque deve seguir: a conservação do patrimônio geológico, educação geológica para um público mais amplo e desenvolvimento socioeconômico sustentável.

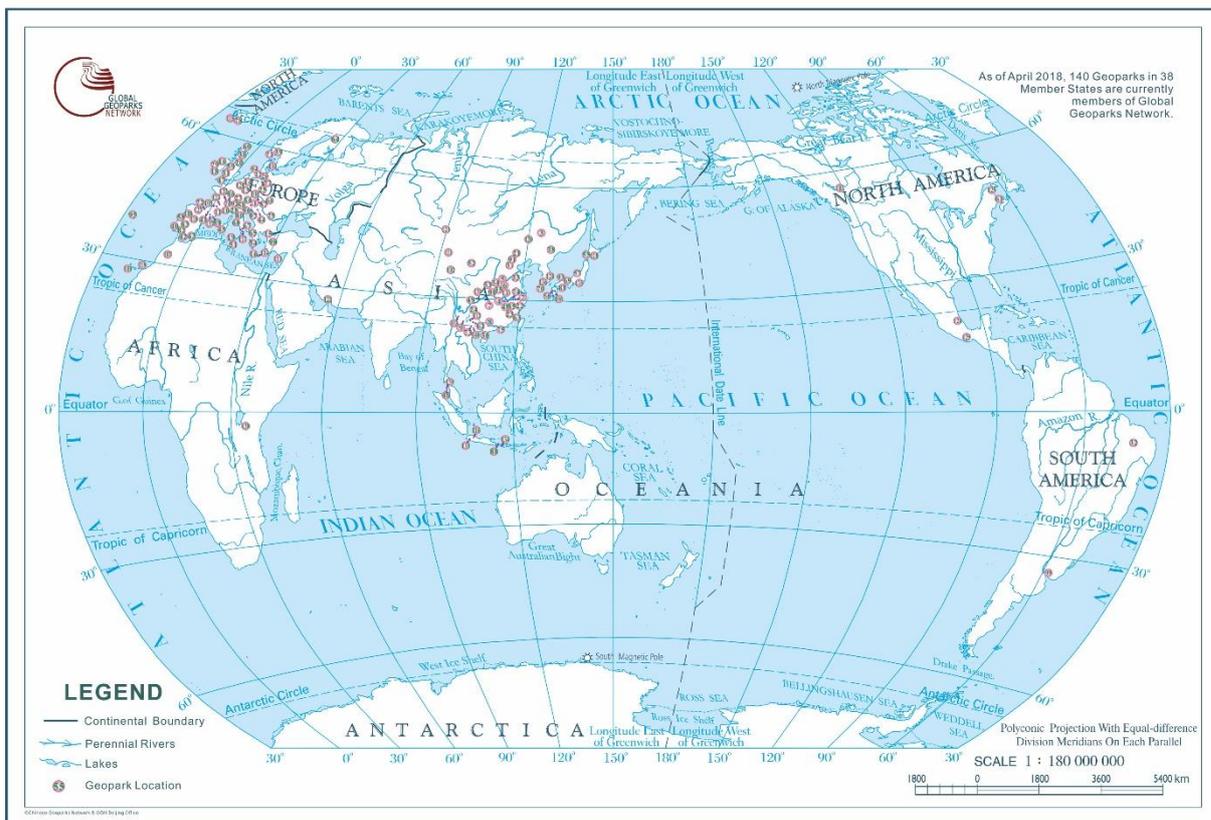
Geoparques começaram a surgir com o interesse na promoção e proteção dos lugares de interesse geológico ao redor do mundo, visto que poucos eram incluídos na lista de Patrimônio Mundial da UNESCO. Discussões em torno da temática fizeram surgir a Rede Europeia de Geoparques, inicialmente com quatro territórios (Jones 2008).

Em 2004, 25 territórios da Europa e China criaram a Rede Global de Geoparques, que funcionava sob os auspícios da UNESCO. Em novembro de 2015, o programa foi instituído como um programa da UNESCO (figura 18).



Figura 18 – Logomarca do Programa de Geoparques da UNESCO.
Fonte: <http://unesco.org/geoparks/>. Acesso em 15 de junho de 2018.

Até junho de 2018, o Programa de Geoparques da UNESCO contava com 140 geoparques membros em 38 países (figura 19), destes apenas um encontra-se em território brasileiro, o Geoparque Araripe, no Ceará, que integra a rede mundial desde 2006.



审图号: GS (2008) 1895 号

2012年5月

Figura 19 – Localização dos geoparques membros do Programa Geoparques da UNESCO.
 Fonte: <http://www.globalgeopark.org/homepageaux/tupai/6513.htm>. Acesso em 15 de junho de 2018.

A principal atividade econômica que pode ser viabilizada em comunidades envolvidas com um geoparque é o geoturismo, definido por Dowling & Newsome (2010) como uma forma de turismo natural que especificamente foca a geologia e a paisagem. Promove turismo nos geossítios, a conservação da geodiversidade e a compreensão das ciências da Terra através da apreciação e aprendizado.

O geoturismo agrega diversas atividades sustentáveis de desenvolvimento, uma delas é a criação de geoprodutos, que podem ser classificados como objetos, artísticos ou não, que possuem uma ligação com a geodiversidade de uma região. Essa ligação pode ser pela utilização de matéria-prima local ou pelo uso dos lugares de interesse geológico como inspiração para os produtos, criando modalidades sustentáveis de desenvolvimento.

Nascimento *et al.* (2015b) mostram especial atenção à definição de que geoparque não deve ser exclusivamente geológico. Portanto, não é um parque de diversões para os

geocientistas. Mais que isso, ele deve incluir, segundo os autores, “um projeto de desenvolvimento regional, com atividades turístico-culturais-educacionais apresentadas ao público em linguagem adequada que sejam relativas às belezas naturais e à cultura”, isto aliado à “continuidade de todas as atividades normais da economia regional, de maneira a permitir o aproveitamento e fruição atuais, promover a fixação da população local e estimular o desenvolvimento social, econômico e cultural. Tudo isso com uma visão conservacionista, de desenvolvimento sustentável, ou seja, sem prejudicar seu aproveitamento e fruição pelas gerações futuras”.

Visando a expansão de atividades econômicas com o mínimo de degradação possível, além de buscar o incentivo à ampliação do número de geoparques no Brasil, a CPRM lançou em 2006 o Projeto Geoparques, aproveitando o potencial do país para a proposição de ações neste sentido, isto devido à sua extensão territorial e rica geodiversidade (Schobbenhaus & Silva 2012).

Inicialmente, foram 17 áreas pesquisadas: Cachoeiras do Amazonas (AM), Morro do Chapéu (BA), Pirineus (GO), Astroblema de Araguiana-Ponte Branca (GO/MT), Quadrilátero Ferrífero (MG), Bodoquena-Pantanal (MS), Chapada dos Guimarães (MT), Fernando de Noronha (PE), Seridó (RN), Quarta Colônia (RS), Caminhos dos Cânions do Sul (RS/SC), Serra da Capivara (PI), Ciclo do Ouro, Guarulhos (SP), Uberaba – Terra dos Dinossauros (MG), Campos Gerais (PR), Litoral Sul de Pernambuco (PE) e Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro (RJ). Estas foram publicadas em volume único no ano de 2012 (Schobbenhaus & Silva 2012).

Atualmente, o Serviço Geológico do Brasil computa 37 áreas integrantes do projeto, das quais nove são novas (figura 20).

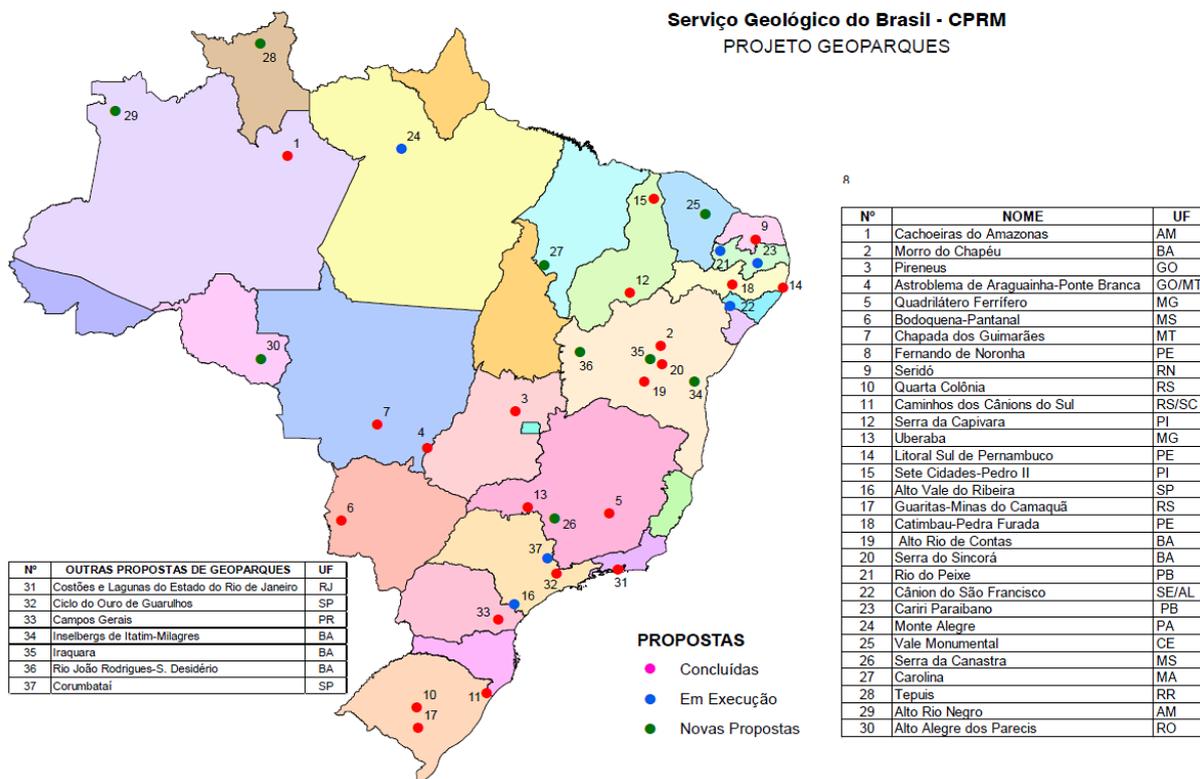


Figura 20 – Propostas do Projeto Geoparques da CPRM.

Fonte: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geoparques-134>.

Acesso em 15 de junho de 2018.

Uma das propostas incluídas no Projeto Geoparques da CPRM é do Geoparque Seridó, área de estudo deste trabalho. Foi inicialmente proposto por Nascimento & Ferreira (2012). A proposta inicial era composta por 14 municípios e 25 geossítios, sendo um de relevância internacional, seis de relevância nacional e os demais de relevância regional/local. Atualmente, o inventário do projeto compreende seis municípios e 16 geossítios (Medeiros 2015).

2.6 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Serviços ecossistêmicos são conceituados por Andrade & Romeiro (2009) como “benefícios tangíveis (alimentos e madeira, por exemplo) e intangíveis (beleza cênica e regulação do clima, por exemplo) obtidos pelo ser humano através das dinâmicas e complexas interações entre os diversos componentes do capital natural”.

Trata-se de um conceito que pode ser aplicado na valoração qualitativa da diversidade natural, aqui entendida como o conjunto de elementos bióticos e abióticos que compõem a natureza. Trata-se de uma forma de embasamento científico para as ações de conservação e preservação do meio ambiente, que já se encontra consolidado nos estudos ambientais.

Diversos autores, desde o final da década de 1970, definiram a terminologia e as classificações associadas ao termo. Ao longo dos últimos 40 anos as discussões sobre serviços ecossistêmicos têm se mostrado contínuas e sua aplicação expandida, principalmente após a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MA) realizada no começo da década de 2000 (McDonough *et al.* 2017).

A MA foi uma ação da Organização das Nações Unidas que integrou mais de 1300 cientistas de 95 países para pensar sobre a saúde dos ecossistemas globais. As atividades ocorreram entre os anos de 2001 e 2005 e resultaram em relatórios que integraram informações sobre o meio ambiente e que poderiam ser utilizados, a partir de então, na tomada de decisões por governos e demais entidades.

Desde sua publicação, todo o material produzido pela MA tem sido constantemente referenciado em estudos da natureza como uma base teórica fundamental. Uma das principais colaborações foi a determinação dos benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, chamados de serviços de regulação, suporte, provisão ou cultural (Millenium Ecosystem Assessment 2005). Trata-se de uma classificação inovadora dos serviços ecossistêmicos, o que propiciou uma intensa expansão de seu uso.

2.6.1 Definição

Os pensadores pré-socráticos já entendiam a importância dos elementos da natureza para o meio ambiente e para o ser humano em si, não se abstendo de analisar o relacionamento de ambos. A *physis* é, para tais pensadores, a expressão de qualquer nível de ser, sejam as rochas, as plantas, o ser humano ou ainda algum sentimento ou divindade (Unger 2006).

Assim, é dada relevância à natureza desde a Grécia Antiga, que ao longo da história foi se modificando, em duas vertentes. Uma pelo aumento da exploração utilitarista desenfreada

dos recursos naturais, devido ao intenso desenvolvimento tecnológico do ser humano. E outra vertente pela interpretação da importância do meio ambiente para o bem-estar da própria sociedade, o que determinou uma finalidade para a conservação da natureza, que seria a conservação do ser humano por consequência.

“Em sua gênese, as relações do homem com a natureza foram estabelecidas pela dependência do primeiro às condições naturais” (Naves & Bernardes 2014). O estabelecimento dos povos, anteriormente nômades, o desenvolvimento da *urbis* e da urbanidade, as revoluções político-filosóficas, as guerras, a Revolução Industrial, em suma, todos os processos de evolução da sociedade acarretaram em um maior uso dos recursos naturais pelo ser humano, devido à sua primordial dependência da natureza, onde o ser humano é um dos componentes do ecossistema.

Apesar de ser comum, não é imprescindível abdicar do desenvolvimento pelo meio ambiente ou do meio ambiente pelo desenvolvimento, mas necessário é balancear a conta em busca da sustentabilidade. Neste sentido e ao longo de séculos, diversos pensadores tentaram entender como se dá a relação ser humano/natureza e como agir para que essa relação seja estável e duradora para todo o ecossistema, de forma sustentável, a exemplo de Balmford *et al.* (2002), Hopwood *et al.* (2005) e Raufflet *et al.* (2014).

Assim, se iniciaram já na segunda metade do século XX discussões mais intensas no meio científico sobre como proteger os elementos da natureza. Os economistas apontaram que a maneira mais eficiente seria determinar um valor para tais recursos. Westman (1977) cria, então, o que ele chama de valor da natureza, que estaria associado a um valor monetário perdido pela degradação de um ecossistema ou parte dele. Ou ainda, estaria associado ao montante necessário para que se revertesse os impactos ambientais. Ehrlich & Mooney (1983) foram os primeiros a utilizar o termo Serviços Ecossistêmicos, que perdura até hoje.

A definição destes serviços buscava demonstrar como a perda massiva de espécies afetaria o ecossistema e como as mudanças ambientais afetariam a estabilidade e resistência do sistema Terra (Mooney & Ehrlich 1997).

De forma geral, os serviços ecossistêmicos consistem no fluxo de materiais, energia e informação obtidos a partir do capital natural, que, combinados com o capital humano e manufaturado, fornecem o bem-estar para o ser humano (Costanza *et al.* 1997).

Andrade & Romeiro (2009) definem capital natural como “a totalidade dos recursos oferecidos pelo ecossistema terrestre que suporta o sistema econômico, os quais contribuem direta e indiretamente para o bem-estar humano”.

Para Guerry *et al.* (2015), capitais ativos se mostram em diferentes vertentes e incluem desde maquinário produzido pelo ser humano, que constituiria o capital manufaturado, até a produção de conhecimento e habilidades, que seria o capital humano, as relações sociais, capital social, a riqueza monetária, tida como capital financeiro, e o capital natural. Essas diferentes formas de capital possuem diversas interações que são responsáveis pela qualidade de vida das sociedades humanas. Nessa definição, o capital natural possui um estoque de componentes bióticos e abióticos, que por sua vez constituem os ecossistemas.

É, portanto, a partir do capital natural (componentes vivos e não-vivos dos ecossistemas) que os serviços ecossistêmicos existem, possibilitando a vida humana, seu bem-estar e desenvolvimento.

Ao longo das últimas duas décadas diversos trabalhos trouxeram em seu escopo revisões conceituais, a exemplo de Farber *et al.* (2002), Egoh *et al.* (2007), Costa (2008), Gómez-Baggethun *et al.* (2010), Lele *et al.* (2013) e Van Ree & Van Beukering (2016).

Os trabalhos de Fisher *et al.* (2009) e McDonough *et al.* (2017) fazem uma avaliação do uso do termo serviços ecossistêmicos em publicações desde o início da aplicação da terminologia e mostram uma ampliação quase que exponencial, sobretudo a partir do começo da década de 2000, que coincide com a Avaliação Ecossistêmica do Milênio. As figuras 21 e 22 mostram os resultados obtidos pelos dois trabalhos.

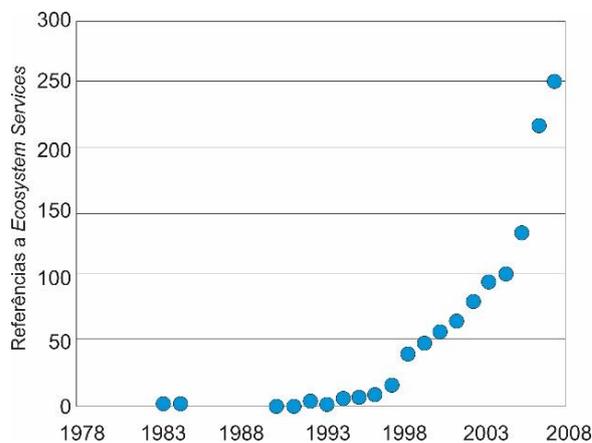


Figura 21 – Número de artigos que usaram o termo “ecosystem services” ou “ecological services” até 2007. Fonte: Fisher *et al.* (2009).

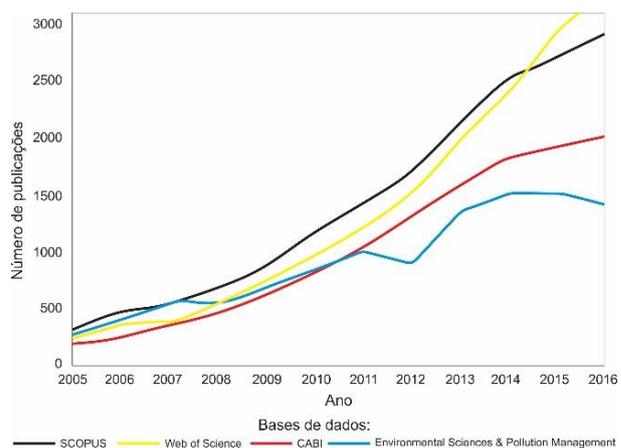


Figura 22 – Número de artigos publicados entre 2005 e 2016 que citam o termo “ecosystem services”. Fonte: McDonough *et al.* (2017).

Como uma forma de mostrar a interdependência do ser humano com o resto da natureza, as estimativas monetárias dos valores do ecossistema têm sido bastante aplicadas em diversos estudos. Constanza *et al.* (2014) afirmam que se trata de uma forma de criar preocupação e consciência acerca da importância dos serviços ecossistêmicos para todo o sistema natural,

assim como para o bem-estar humano. No mesmo trabalho, os autores fazem uma avaliação de que entre 1997 e 2011 a perda de serviços ecossistêmicos, sejam eles quais forem, pode ser calculada em cerca de 20,2 trilhões de dólares ao ano.

É importante frisar que existem sinergias, mas também limitações e desafios na aplicação do conceito de serviços ecossistêmicos, como mostram os trabalhos de Potschin & Haines-Young (2011), Von Haaren & Albert (2011) e La Notte *et al.* (2017). Destacam-se aqui a limitação de uma avaliação econômica, tanto pelas metodologias aplicadas, como as condições geográficas, que influenciam a definição dos valores de lugar para lugar. É preciso, portanto, aplicar também métodos não-monetários de avaliação. O segundo ponto levantado pelos trabalhos é a necessidade de inclusão dos elementos abióticos da natureza nas avaliações, ainda pouco explorado.

As primeiras tentativas de conceituação dos serviços ecossistêmicos versavam muito sobre o fator monetário da natureza. O enfoque se dava principalmente à tratativa com a biodiversidade e como a extinção em massa iria afetar o ecossistema, a exemplo do que tratam os trabalhos de Westman (1977) e Ehrlich & Mooney (1983).

Daily (1997) definiu serviços ecossistêmicos como as condições e processos através dos quais ecossistemas naturais, e as espécies que os compõem, sustentam e preenchem a vida humana.

A Avaliação Ecológica do Milênio define os serviços ecossistêmicos como os benefícios que as pessoas obtêm do ecossistema. Isso inclui serviços de provisão, de regulação, suporte e cultural (Millenium Ecosystem Assesment 2005).

Fisher *et al.* (2009) indicam que os serviços ecossistêmicos são os aspectos dos ecossistemas utilizados (ativa ou passivamente) para produzir o bem-estar humano.

Ruppert & Duncan (2017), a partir da aplicação de método Delphi, conceituaram os serviços ecossistêmicos (SE) como uma vasta gama de benefícios diretos e indiretos, monetários e não-monetários, que seres humanos obtêm como resultado de estarem envolvidos dentro de um ecossistema ativo, nativo ou modificado. A atividade humana que altera a estrutura do ecossistema é a maior contribuidora para as mudanças nos SE. Assim, incluir os SE nas tomadas de decisão pode prover incentivos para preservar ecossistemas nativos ou restaurar o funcionamento dos ecossistemas.

Em todas as definições, apesar de pequenas variações, permanece a importância da relação do ser humano com a natureza e os benefícios, aqui entendidos como serviços, que esta relação propicia ao ser humano.

O conceito obtido pelo trabalho de Ruppert & Duncan (2017) deixa claro a intervenção antrópica como a de maior impacto nos serviços do ecossistema, sendo fundamental sua avaliação e mitigação. Reafirma-se, portanto, a viabilidade da aplicação do conceito nas ações de conservação do meio ambiente.

Essa definição mostra que os serviços ecossistêmicos não estão limitados aos estudos da biodiversidade, mas da diversidade natural. Assim, é função da aplicação dos serviços ecossistêmicos a avaliação de todos os elementos do meio ambiente, de forma a avaliar os possíveis impactos em todo o sistema, não se detendo apenas à análise de degradação nos seres vivos.

Apesar de estarem mais concentrados na área de ecologia, os estudos que aplicam o conceito de serviços ecossistêmico transbordam esse ciclo e se tornaram multidisciplinares. McDonough *et al.* (2017) fizeram uma análise das publicações que citam o termo “ecosystem services” no título, palavras-chave ou resumo, no período de 2005 a 2016, cujo resultado está na figura 23.

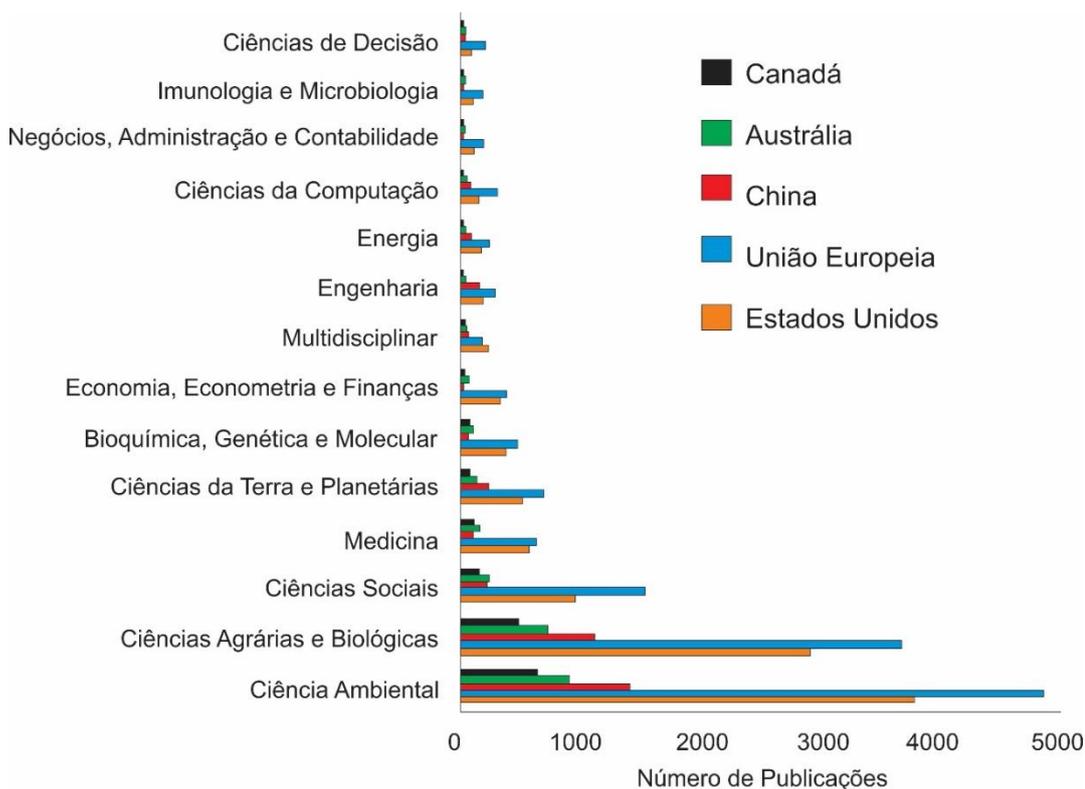


Figura 23 – Número de artigos publicados entre 2005 e 2016 que citam o termo “ecosystem services” divididos por área de aplicação e países de origem. Fonte: McDonough *et al.* (2017).

Destacam-se, portanto, as ciências ambientais, biológicas e agrárias. Isso se deve ao forte desenvolvimento do conceito nessas áreas, sobretudo pelo estudo do pagamento de passivos ambientais gerados pelo impacto de ações antrópicas. As ciências sociais têm-se

destacado devido à interpretação da relação ser humano/natureza, facilitada pelo conceito de serviços ecossistêmicos. Esses resultados não diferem da realidade brasileira, como pode ser exemplificado pelos trabalhos de Costa (2008) e Silva (2016).

2.6.2 Serviços Ecossistêmicos e Geodiversidade

O trabalho da English Nature (2002) indica que é possível aplicar os serviços ecossistêmicos da natureza aos estudos da geodiversidade, pois é uma forma de descrever a contribuição da natureza para a qualidade de vida no planeta, promovendo uma boa relação entre os estudos da geodiversidade com os da biodiversidade.

Gray (2008) se refere aos “serviços geossistêmicos”, que seriam os valores intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional e científico/educativo. Esta sistemática, adaptada de um dos primeiros sistemas de valores da geodiversidade (Gray 2004), procura fazer um paralelo com as definições dos serviços ecossistêmicos feitas anos antes pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio.

Gray (2011) desenvolveu melhor o conceito e adaptou a definição dos serviços ecossistêmicos da MA para a geodiversidade. Assim, foram definidos os serviços de regulação, suporte, cultural, provisão e de conhecimento.

A figura 24 sintetiza as definições dos diferentes serviços ecossistêmicos referentes à biodiversidade, à geodiversidade ou a ambas, a partir do que foi definido pela Millenium Ecosystem Assessment (2005) e por Gray (2013).

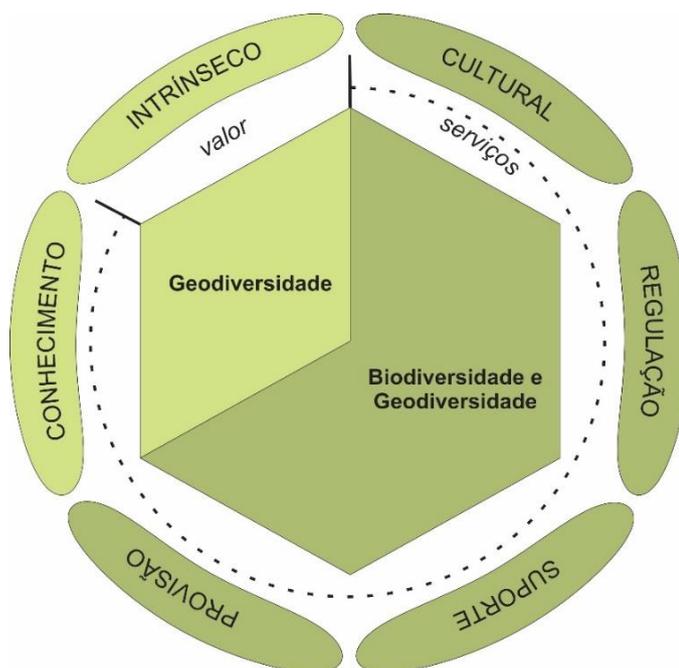


Figura 24 – Diagrama dos serviços e valor ecossistêmicos da natureza (biodiversidade e geodiversidade) de acordo com Millenium Ecosystem Assessment (2005) e Gray (2013).

Gordon *et al.* (2012) entendem, contudo, a geodiversidade como parte integrante dos serviços ecossistêmicos, não sendo necessária a implementação de um termo separado para os elementos abióticos da natureza. De forma semelhante, Lele *et al.* (2013) afirmam que a formulação do termo serviços geossistêmicos é facilmente subsumido pela abordagem da economia ambiental.

Feeley *et al.* (2014), por sua vez, separam os serviços em ecossistêmicos, geossistêmicos e humanos/sociais. E Chakraborty *et al.* (2014) coloca que a noção de serviços geossistêmicos é a espinha dorsal de uma ética de conservação da natureza baseada em geossistemas.

Hjort *et al.* (2015) indicam que a geodiversidade, enquanto parte fundamental da natureza, é responsável por diversos processos cuja simples manutenção facilitará a conservação da biodiversidade, e por isso precisa ter seus valores próprios definidos. Lançam mão do termo serviços ecossistêmicos abióticos.

Van Ree & Van Beukering (2016), entretanto, entendem que a separação dos serviços ecossistêmicos e geossistêmicos é necessária. Apresentam para isso razões como a diferença na escala do tempo e magnitude dos fenômenos geológicos, em comparação com os biológicos e que o termo pode favorecer a integração dos geólogos com cientistas sociais.

A tabela 4 resume as principais opiniões dos autores sobre a exequibilidade de diferenciação entre serviços ecossistêmicos e geossistêmicos.

Tabela 4 – Relação de trabalhos com as abordagens sobre serviços da natureza, ecossistêmicos ou geossistêmicos, e a justificativa para o uso.

Trabalho	Abordagem	Justificativa
English Nature (2002)	Serviços Ecossistêmicos	Ainda não havia sido criada a definição de serviços geossistêmicos
Gray (2008), Gray (2011) e Gray (2013), Chakraborty <i>et al.</i> (2014), Hjort <i>et al.</i> (2015)	Serviços Geossistêmicos ou Serviços Ecossistêmicos Abióticos	A geodiversidade tem seus próprios valores
Gordon <i>et al.</i> (2012)	Serviços Ecossistêmicos	Geodiversidade é parte do ecossistema
Lele <i>et al.</i> (2013)	Serviços Ecossistêmicos	O termo ecossistêmico já é amplo o bastante para agregar a geodiversidade
Feeley <i>et al.</i> (2014)	Serviços Ecossistêmicos, Geossistêmicos e Sociais	Cada componente da natureza, o ser humano incluído, fornece serviços diferenciados
Van Ree & Van Beukering (2016)	Serviços Geossistêmicos	Dá um maior destaque aos elementos abióticos da natureza e ao papel do geólogo

Os serviços geossistêmicos, que foram propostos como um modelo próprio para os estudos da geodiversidade podem ser unidos aos serviços ecossistêmicos, de forma a tratar a natureza como uma unidade e avaliar não a biodiversidade ou a geodiversidade separadamente, mas interpretar de forma unificada a diversidade natural do planeta, importante para o entendimento do sistema Terra e para a existência do ser humano.

Contudo, os modelos de serviços integrados publicados até o momento ainda não satisfizeram completamente essa unidade, sendo necessárias adaptações. Credita-se esta situação ao fato de que ainda não foi inserida nos modelos a questão do tempo geológico, ao longo do qual foram desenvolvidos os ecossistemas do planeta, como resultado de bilhões de anos de evolução.

Também, a aplicação do conceito de serviços ecossistêmicos nos estudos da geodiversidade ainda não possui muitos exemplos em todo o mundo. Gordon & Barron (2013), entretanto, conseguem aplicar o conceito na avaliação da geodiversidade da Escócia.

Os serviços ecossistêmicos constituem uma metodologia amplamente consolidada nos estudos da biodiversidade e sua conservação. Tal terminologia, por vezes, não avalia os elementos abióticos da natureza, que têm importância fundamental para a diversidade natural da Terra, como também para a manutenção da vida no planeta.

Brilha *et al.* (2018) apontam que a abordagem dos serviços ecossistêmicos é atualmente chave fundamental na tomada de decisões que envolvam o desenvolvimento sustentável, sobretudo na definição de valores qualitativos e quantitativos, indicando sistema específico de avaliação a partir da contribuição da geodiversidade no estabelecimento e manutenção das condições ambientais.

É possível integrar os estudos da geodiversidade com os da biodiversidade, analisando-se a diversidade natural do planeta. Assim, poderão ser unidas diversas ações em prol da conservação do meio ambiente. Contudo, ainda são poucos os autores que utilizam a geodiversidade como fornecedora fundamental dos serviços ecossistêmicos, prova disto é o comparativo entre as publicações que versam sobre os serviços ecossistêmicos e os que fazem a sua relação com a diversidade abiótica da natureza, a exemplo de Gordon *et al.* (2012) e Feeley *et al.* (2014).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a geodiversidade da área do projeto Geoparque Seridó, caracterizando-a qualitativa e quantitativamente, fazendo uso de geotecnologias e propondo ações de proteção e uso sustentável dos recursos naturais.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Identificar e descrever geossítios para compor a proposta do Geoparque;
- ii. Valorar qualitativamente os principais locais de interesse geológico na área do projeto Geoparque Seridó de acordo com os serviços ecossistêmicos;
- iii. Quantificar os principais locais de interesse geológico na área do projeto Geoparque Seridó de acordo com os métodos de Forte *et al.* (2018) e de Pereira *et al.* (2013);
- iv. Fazer a fotogrametria 3D de um geossítio do projeto Geoparque Seridó para contribuir de forma inovadora na divulgação científica como parte do programa geoturístico fundamental num geoparque;
- v. Identificar as principais ameaças à geodiversidade no projeto Geoparque Seridó;
- vi. Propor ações de geoconservação e divulgação da geodiversidade na região do projeto Geoparque Seridó.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa realizada ao longo deste projeto de mestrado foi a revisão da literatura. Para isso, alguns termos essenciais foram definidos de forma a facilitar a consulta nas fontes. Para as bases conceituais, foram pesquisados termos como “geodiversidade”, “geoconservação”, “geoparques”, “serviços ecossistêmicos”, “diversidade abiótica”, “Geoparque Seridó”, “Província Borborema”, “Grupo Seridó”, entre outros. Foram feitas pesquisas nas línguas portuguesa, inglesa, espanhola e francesa. Não foi feita uma delimitação temporal para pesquisa, de forma a obter um panorama revisional mais preciso sobre os assuntos pesquisados.

Teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, livros, capítulos de livros, artigos em periódicos e artigos em revistas correntes foram obtidos nas plataformas *Google Scholar*, SciELO, Periódicos CAPES e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD-IBICT), compreendendo as principais bases consultadas. A Biblioteca Central Zila Mamede (BCZM), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), também foi consultada, por dispor de acervo sobre a geologia local.

Para obtenção de dados cartográficos, foram consultados os sítios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Alguns arquivos vetoriais foram obtidos com profissionais da UFRN e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

4.2 ATIVIDADES DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em três períodos distintos. O primeiro nos dias 20 e 21 de janeiro de 2018, o segundo entre 03 e 06 de abril de 2018 e o terceiro entre os dias 19 e 21 de junho de 2018, totalizando nove dias de campo. O objetivo principal dessa etapa foi a visita aos 16 geossítios atualmente compreendidos pela proposta do Geoparque Seridó, desses 15 foram explorados. A exceção se deu ao geossítio Mirante Santa Rita, que, estando em uma propriedade privada, teve seu acesso fechado.

Outros locais também foram alvos para avaliar sua riqueza geológica, a exemplo do Tanque dos Poscianos, na cidade de Lagoa Nova, aqui proposto como novo geossítio para o Geoparque Seridó. Houve visita a artesãos que utilizam a geodiversidade na criação de geoprodutos, de forma a avaliar e embasar as discussões sobre a importância da natureza abiótica para as comunidades envolvidas pelo geoparque.

Nos trabalhos de campo, foram utilizados bússola Brunton para a tomada de atitudes dos corpos rochosos, como lineação e foliação, e receptor de sinal de GPS Garmin eTrex 30x, no qual as coordenadas foram obtidas, em valores métricos, segundo o Datum *World Geodetic System* de 1984 (WGS 1984). Não foram coletadas amostras de rocha para análise devido à existência de vasta literatura sobre a geologia local, respeitando o código de ética para trabalhos de campo proposto por Mansur *et al.* (2017).

Foram coletadas, portanto, informações sobre a geologia e paleontologia dos lugares. Guias locais acompanharam algumas das etapas de campo e forneceram mais informações históricas e arqueológicas sobre os lugares visitados.

4.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

O ato de valorar a geodiversidade advém da importância de se fundamentar a necessidade de conservação (Brilha 2005). Assim, o desenvolvimento de metodologias específicas para a definição de valores da natureza abiótica se tornou um dos focos principais dos estudos da área, a fim de embasar as discussões sobre geoconservação.

É imprescindível, em um processo de gestão sustentável do meio ambiente a definição de valores da natureza, porque “o ato de preservar e de conservar algo está diretamente relacionado à atribuição de algum valor” (Nascimento *et al.* 2008b).

Para Díaz-Martínez & Fernández-Martínez (2015), a definição dos valores é dependente do interesse que um elemento da geodiversidade pode despertar, ou ainda das visões sobre a natureza e paradigmas fundamentais das civilizações e sociedades humanas, seja uma visão espiritual ou racional (materialista). A primeira reflete o aspecto sagrado de um elemento para um grupo. A visão racional está baseada no potencial de uso deste elemento pelas comunidades.

Nos estudos da natureza abiótica o método mais utilizado para valoração qualitativa é o de Gray (2004), que define um sistema de seis valores (intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional e científico) e 32 subvalores.

Com a definição dos serviços ecossistêmicos da Avaliação Ecossistêmica do Milênio, o autor criou um sistema, que dialoga com o método já empregado para a biodiversidade. Assim, Gray (2013) criou uma classificação de um valor (intrínseco), cinco serviços (regulação, suporte, provisão, cultural e conhecimento), aos quais estão associados 25 bens e processos.

Esta nova metodologia, ainda pouco explorada nos estudos da diversidade abiótica no Brasil, é a empregada neste trabalho. A seguir, faz-se uma definição sintética do sistema de serviços, bens e processos da geodiversidade.

4.3.1 Valor Intrínseco

O valor intrínseco pode ser considerado como o mais subjetivo dentro dos sistemas de valoração da natureza até hoje criados. Contudo, representa, no entendimento aqui empregado, um importante reflexo da importância dos componentes do ecossistema na manutenção de seu estado e equilíbrio.

No que concerne à geodiversidade, este valor, também conhecido como valor de existência, corresponde ao reconhecimento de que a exploração dos recursos naturais pelo ser humano deve ocorrer de uma forma mais sustentável, porque o simples fato desses elementos e processos existirem agrega uma importância ecológica, social e ética à natureza (Sharples 2002).

O valor intrínseco expressa a importância da geodiversidade, desassociada da função que esta possa ter para o ser humano. Assim, “a geodiversidade terá um valor intrínseco independentemente da sua maior ou menor valia para o Homem” (Brilha 2005).

A definição de Gray (2013) indica que o valor intrínseco se refere à crença ética de que algumas coisas possuem valor simplesmente pelo que elas são não pelo uso que a elas é dado pelo ser humano.

Washington (2018) fornece dois motivos para que a geodiversidade tenha seu valor intrínseco: por ser o substrato da vida e por ser único e suscetível à degradação e destruição. O autor ainda frisa que ter valor não significa que a geodiversidade deve ser intocável, mas usada com respeito.

4.3.2 Serviço de Regulação

Os serviços de regulação da geodiversidade são os responsáveis por manter o equilíbrio e a estabilidade dos processos e fenômenos no planeta, controlam, portanto, a dinâmica natural. Gray (2013) define quatro processos associados a este serviço:

- Processos Atmosféricos e Oceânicos

São os processos realizados pela atmosfera e pelos oceanos que tem a função de controlar, em diversas escalas, a disponibilidade e qualidade dos recursos. Dois exemplos disso são a camada de ozônio, responsável pelo controle da temperatura no planeta, e a evaporação da água dos oceanos, que controla a estabilidade do ciclo hidrológico.

- Processos Terrestres

Os ciclos do carbono e das rochas são exemplos deste tipo de processo, assim como o equilíbrio dinâmico dos processos geomorfológicos, que acabam por controlar as mudanças climáticas observadas ao longo da história da Terra.

- Controle de Inundação

No momento em que um sedimento ou uma rocha sedimentar porosa absorve uma grande quantidade de água, direcionando-a para o lençol freático, há uma colaboração deste elemento da geodiversidade em mitigar possíveis ocorrências de inundações e alagamentos, da mesma forma que dunas frontais e barreiras de recifes arenosos em praias do Nordeste brasileiro previnem o avanço constante do nível do mar.

- Qualidade da Água

Sedimentos, solos e rochas agem sobre a qualidade da água ao passo que funcionam como filtro do fluxo pluvial, impedindo a percolação de elementos poluidores para o lençol freático ou atenuando a ação de poluentes, por exemplo.

4.3.3 Serviço de Suporte

Quando a geodiversidade é utilizada por algum ente da natureza, o ser humano incluído, como substrato para o desenvolvimento de suas atividades, como estabelecimento de moradia ou até mesmo para sua reprodução, aí se define o chamado serviço de suporte do meio abiótico, que agrega quatro processos na definição de Gray (2013):

- Processos do Solo

Os solos agregam diversas funções ao ecossistema, sendo fundamentais para o desenvolvimento de plantas e microrganismos, disponibilizando nutrientes.

São associados a este processo de suporte da geodiversidade, os solos ideais para a agricultura, viticultura ou para o estabelecimento de florestas.

- Provisão de Habitat

Diversos seres do conjunto universal da biodiversidade se utilizam do meio físico para estabelecer um habitat, condicionados por fatores como tipo de rocha e solo são fundamentais para o desenvolvimento de espécies específica.

As próprias sociedades humanas, ao longo de sua história, se estabeleceram em cavernas ou em outros locais que fornecessem abrigo e proteção para suas famílias ou si próprio, fugindo de outros animais caçadores. A geodiversidade, portanto, exerceu, ao longo da história antropológica, papel fundamental na evolução do ser humano.

- Plataforma

Uma vez que funciona como base para o desenvolvimento de atividades do ser humano, a geodiversidade se torna, portanto, uma plataforma, ou fundação para isto, agregando este tipo de valor a si.

- Sepultamento e Armazenamento

Ao longo da história da humanidade, os elementos do meio físico se tornaram locais de deposição de restos mortais ou para o estoque de recursos. Exemplos disto são as antigas câmaras mortuárias em cavernas e o estoque de resíduos radioativos feito em depósitos subterrâneos.

4.3.4 Serviço de Provisão

Estão relacionados com a disponibilização pelo ambiente físico de bens materiais para utilização pelas sociedades humanas. Normalmente, está associado a si um valor monetário, por vezes extremamente alto, o que facilita sua identificação. Gray (2013) enumera sete bens disponibilizados pela geodiversidade que possibilitam a determinação de um serviço de provisão:

- Comida e Bebida

O meio físico é o responsável por disponibilizar a água potável para o consumo humano, uma vez que as principais fontes e estoques deste recurso natural estão alojados em sedimentos ou rochas, elementos da geodiversidade. Ainda, as características abióticas do meio determinam diferenças químicas na água, o que diferencia os produtos dela advindos, como a cerveja, ou do solo como o *terroir* dos vinhos.

Apesar da maior parte da alimentação dos seres vivos ser composta por elementos da biodiversidade, existem alguns exemplos do meio físico que são utilizados como comida, a exemplo do sal, produzido a partir do mineral halita.

- Nutrientes e Minerais para Crescimento Saudável

Alguns elementos químicos são essenciais para o desenvolvimento e reprodução de diversas espécies da biodiversidade, a espécie humana incluída. Assim, alguns minerais, enquanto elementos da geodiversidade são fornecedores desses nutrientes, a exemplo do sódio consumido pelo beneficiamento da halita, do selênio, encontrado em solos ricos neste elemento no Canadá, e da água mineral ingerida ou utilizada em banhos.

Algumas tribos e comunidade ao redor do mundo, especialmente na África, possuem uma relação forte com a geodiversidade de suas regiões e creem no poder dos materiais inorgânicos em fornecer saúde àqueles que se alimentam. Disto, tem-se o surgimento da geofagia, que é o ato de comer terra, outro exemplo de serviço de provisão do meio físico.

- Combustíveis Minerais

A geodiversidade é a principal fonte de energia utilizada pelo ser humano, a exemplo dos recursos não renováveis: petróleo, gás, carvão e urânio.

Também deve-se levar em conta com os elementos abióticos da natureza são fornecedores de outro tipo de energia, com uso em expansão, que é a energia geotermal.

- Materiais para Construção

São representados pelos diversos materiais utilizados na arquitetura e construção civil, em diferentes obras e marcos. São exemplos de elementos da geodiversidade que podem ser valorados por fornecerem esse tipo de bem para a sociedade: pedras de construção, agregados, calcários, gesso, areias, betume, entre outros.

- Minerais Industriais e Metálicos

Elementos da natureza abiótica formados por processos de mineralizações, na geração de importantes depósitos explorados ao redor do mundo. Podem ser resultados de processos endógenos ou exógenos. Exemplos são: ilmenita, hematita, cromita, entre outros, a depender de sua concentração e viabilidade de exploração.

- Gemas

São elementos valorados pela sua beleza, raridade e durabilidade. Normalmente, estão associados a valores monetários elevados, mas mesmos os mais comuns podem ser considerados nessa categoria devido ao seu uso em produtos ornamentais e de artesanato.

- Fósseis

Apesar de a legislação brasileira proibir a venda de fósseis, esta atividade é bastante comum na Europa, região de origem do autor que desenvolveu a metodologia. Por esse motivo, trata-se de um elemento da geodiversidade que define um serviço de provisão. Mas sabe-se também da sua importância como registro do passado da Terra.

4.3.5 Serviço Cultural

Relaciona o significado social ou comunitário de algum aspecto do meio físico, algo bastante comum nas sociedades humanas desde a pré-história, pela sua identificação com o ambiente. Nesta categoria, Gray (2013) determina cinco bens e processos culturais relacionados com a geodiversidade:

- Qualidade Ambiental

Relaciona simplesmente com o aspecto visual, paisagístico, dado pelos elementos do meio físico. Pode ser definido também como um bem estético da geodiversidade, é, portanto, subjetivo, uma vez que beleza é variável tanto de pessoa para pessoa, como entre comunidades. Muitas vezes é filosoficamente associado com um bem-estar que o ser humano sente ao admirar ou estar inserido em uma paisagem.

- Geoturismo e Atividades de Lazer

Alguns esportes de aventura se utilizam dos elementos da geodiversidade, como montanhas, para sua realização, a exemplo de alpinismo. Este é, portanto, um bem que a geodiversidade dispõe para a sociedade.

De forma paralela, hoje se entende que há uma forma de turismo que se baseia na exploração dos ambientes naturais com o mínimo de impacto possível e cuja atração é algum espaço criado por elementos da natureza abiótica, sendo conhecido por geoturismo.

- Significado Cultural, Histórico e Espiritual

Está associado com o reconhecimento de uma comunidade com o espaço físico que ela habita. Muitas vezes, este espaço está presente no folclore local, em passagens históricas importantes da sociedade ou até mesmo da sua devoção divina. A forma como uma comunidade se reconhece em um elemento da geodiversidade pode agregar este tipo de serviço ao meio abiótico.

- Inspiração Artística

O espaço físico, assim como seus elementos, paisagens e processos podem ser fonte de inspiração para a produção de material artístico, seja poesia, prosa, música, ou qualquer outro tipo de expressão que lance mão da geodiversidade para sua criação.

- Desenvolvimento Social

Representa as atividades, muitas vezes voluntárias, que tenham relação com o meio físico da comunidade onde são desenvolvidas. São exemplos a ação de sociedades geológicas na promoção de palestras e viagens de campo ou no contato de voluntários com a geologia, através de seu manuseio sustentável e proteção.

4.3.6 Serviço de Conhecimento

Considerado pelo autor como o serviço mais importante da geodiversidade, o de conhecimento relaciona o ambiente físico a um laboratório de pesquisa e indica a sua importância como fonte de informação para a ciência e para a educação. Assim, Gray (2013) define cinco bens e processos de conhecimento:

- História da Terra

Alguns locais de ocorrência de elementos da geodiversidade são peças de quebra-cabeça para remontar o passado remoto do planeta, assim tem-se a importância da natureza abiótica como registro da história da Terra. Exemplo disto são os estromatólitos de *Shark Bay*, na Austrália.

- História da Pesquisa

O desenvolvimento de técnicas e do próprio conhecimento geológico é possível de ser contado através de afloramentos clássicos ao redor do mundo, por exemplo. Nestes lugares, observações dos profissionais foram importantes para estabelecer as leis e modelos básicos da pesquisa científica. O mais famoso deles talvez seja *Siccar Point*, na Escócia.

- Monitoramento Ambiental

Algumas das características encontradas nos elementos da geodiversidade podem ser utilizadas para a avaliação da qualidade dos recursos naturais e, através disso, verificar mudanças ocasionadas pela poluição. Exemplo disto são os sedimentos encontrados em fundo

de lagos e em geleiras, que podem representar a disponibilidade de metais dispersos no ambiente.

- Geoforenses

Solos podem ser importantes provas criminais em investigações de homicídios. Polícias especializadas ao redor do mundo têm feito comparações entre os tipos de solo encontrados em cenas de crime com os resquícios nas vestimentas de suspeitos, além da identificação de materiais e fósseis contrabandeados. Essa é uma função mais recente dos elementos da geodiversidade.

- Educação e Emprego

Uma vez que as ciências da Terra estudam o planeta e sua geodiversidade com diversas aplicações, a existência de elementos da natureza abiótica se torna imprescindível na formação destes profissionais, o que caracteriza este tipo de serviço de conhecimento, também relacionado com atividades de educação ambiental.

Silva (2016) sintetizou as definições de Gray (2013) sob a forma do diagrama reproduzida na figura 25. De forma genérica, pode-se, assim, observar a dimensão dos valores, serviços, bens e processos em que a geodiversidade está envolvida.

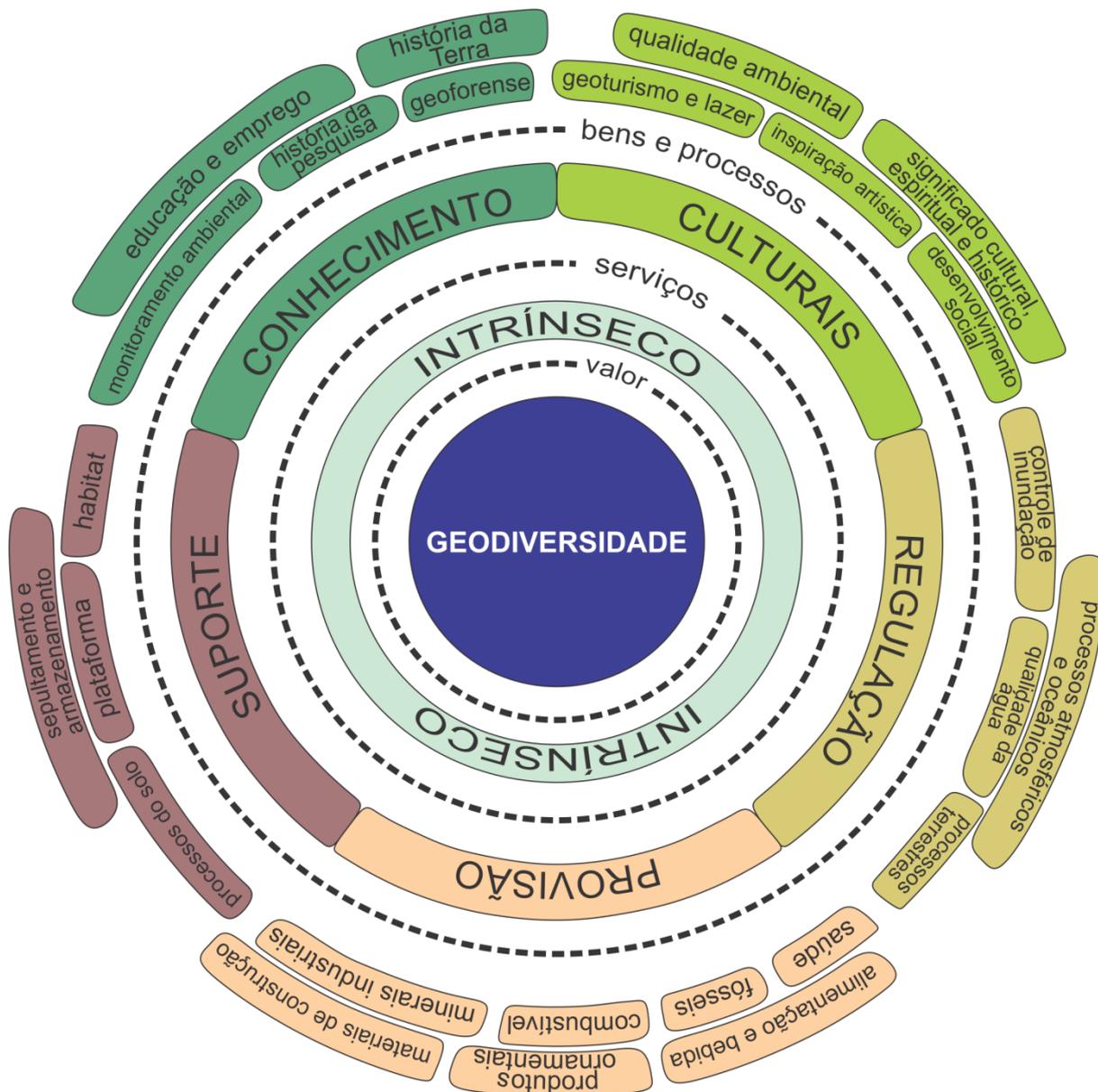


Figura 25 – Diagrama simplificado dos valores, serviços, bens e processos da geodiversidade sensu Murray Gray. Fonte: Silva (2016).

4.4 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

A avaliação da geodiversidade, sobretudo de forma qualitativa, possui por vezes um caráter altamente subjetivo, a depender do ponto de vista do pesquisador e até mesmo do nível de conhecimento científico que ele possui. Como subsídio às ações de pesquisa e conservação da natureza, a subjetividade torna-se um empecilho. Por isso, métodos de análise quantitativa, que empreguem elementos concretos, são essenciais no desenvolvimento dos estudos dos elementos abióticos do meio ambiente.

A maioria dos métodos procura representar de forma matemática ou gráfica a riqueza da geodiversidade de uma região, baseando-se na variedade de elementos e distribuição geográfica, por exemplo.

Nesta perspectiva, o trabalho de Kozłowski (2004) mostra uma proposta de delimitação de classes numa avaliação da geodiversidade. O autor propõe cinco classes (muito alta, alta, moderada, baixa e muito baixa) para a classificação da diversidade abiótica a partir da análise de quatro parâmetros: relevo, solos, água de superfície e estrutura da paisagem.

Reynard *et al.* (2007) definem critérios de avaliação de geomorfossítios através da análise de valores científico, ecológico, estético, cultural e econômico. Definindo valores de 0 a 1 que correspondem, respectivamente, a critério inexistente a muito alto, os autores procuram refletir, de forma matemática, a diversidade abiótica de um local pela integridade de seus elementos, representatividade, raridade, entre outras informações.

Mais adiante, Serrano & Ruiz-Flaño (2007) estabelecem uma equação para definir o índice de geodiversidade de uma região a partir da análise da geomorfologia local. Assim, os autores propõem que esta riqueza é proporcional ao número de elementos existentes numa região e ao índice de rugosidade, que representa a heterogeneidade morfológica local. Ao mesmo tempo, o índice é inversamente proporcional à área analisada. Segundo este método, a avaliação quantitativa da geodiversidade pode ser dada pela seguinte fórmula:

$$Gd = \frac{Eg \cdot R}{\ln S}$$

Gd – índice de geodiversidade, *Eg* – número de elementos da região analisada, *R* – índice de rugosidade, *S* – área analisada

Kot (2014) estabelece um método de avaliação da geodiversidade a partir da bonificação por pontos com a avaliação da geologia, geomorfologia, hidrologia, pedologia e clima da área analisada. Em seu método, o autor elenca classes de valores de 0 a 4.

De forma semelhante, mas com um foco maior sobre os lugares de interesse geológico e geossítios, Brilha (2016) avalia o valor científico da geodiversidade, assim como o potencial

de seu uso para a educação e turismo através da pontuação de diversos critérios como representatividade, conhecimento científico, integridade, diversidade geológica, raridade, vulnerabilidade, acessibilidade, entre outros. Este método é o utilizado, por exemplo, no programa Geossit do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para a quantificação de geossítios brasileiros.

Apesar de serem métodos estatísticos mais fidedignos à realidade natural, alguns destes métodos ainda apresentam um fator alto de subjetividade, no momento em que o analisador interage com os fatores de análise ou na bonificação dos pontos. Como forma de evitar esse procedimento, a literatura mostra exemplos de quantificação da geodiversidade através de ferramentas do geoprocessamento.

Um dos primeiros métodos neste sentido é o trabalho de Jačková & Romportl (2008), que se beneficia do geoprocessamento ao estabelecer células em um *grid* sobre a área analisada. Cada célula representa uma pequena parte da área e a variedade e diversidade de elementos dentro de seus limites corresponde à riqueza da geodiversidade local.

Pereira *et al.* (2013) aprimoraram a técnica e apresentaram um método que, posteriormente, foi utilizado, em trabalhos no Brasil, por Silva *et al.* (2015), Araújo & Pereira (2016) e Santos *et al.* (2017). Trata-se, portanto, de uma aplicação conceituada nos trabalhos especializados e, por isso, é um dos métodos de análise quantitativa aplicado neste trabalho.

O método se baseia na geração de um *grid* regular formado por polígonos sobre cada mapa temático utilizado como fonte cartográfica. O número de elementos internamente a cada polígono representa o valor, ou sub-índice, como representado na figura 26.

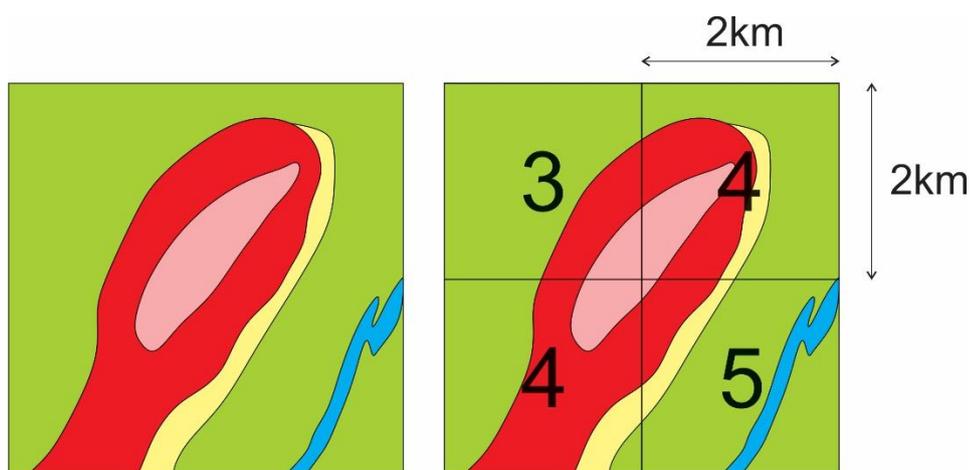


Figura 26 – Exemplificação do grid de amostragem e da composição dos valores de sub-índices segundo o método de Pereira *et al.* (2013).

Como a área total deste trabalho é de 2.802km², foi criada uma malha com polígonos de 2x2km, de forma a se gerar 824 polígonos para recobrir toda a região (figura 27).

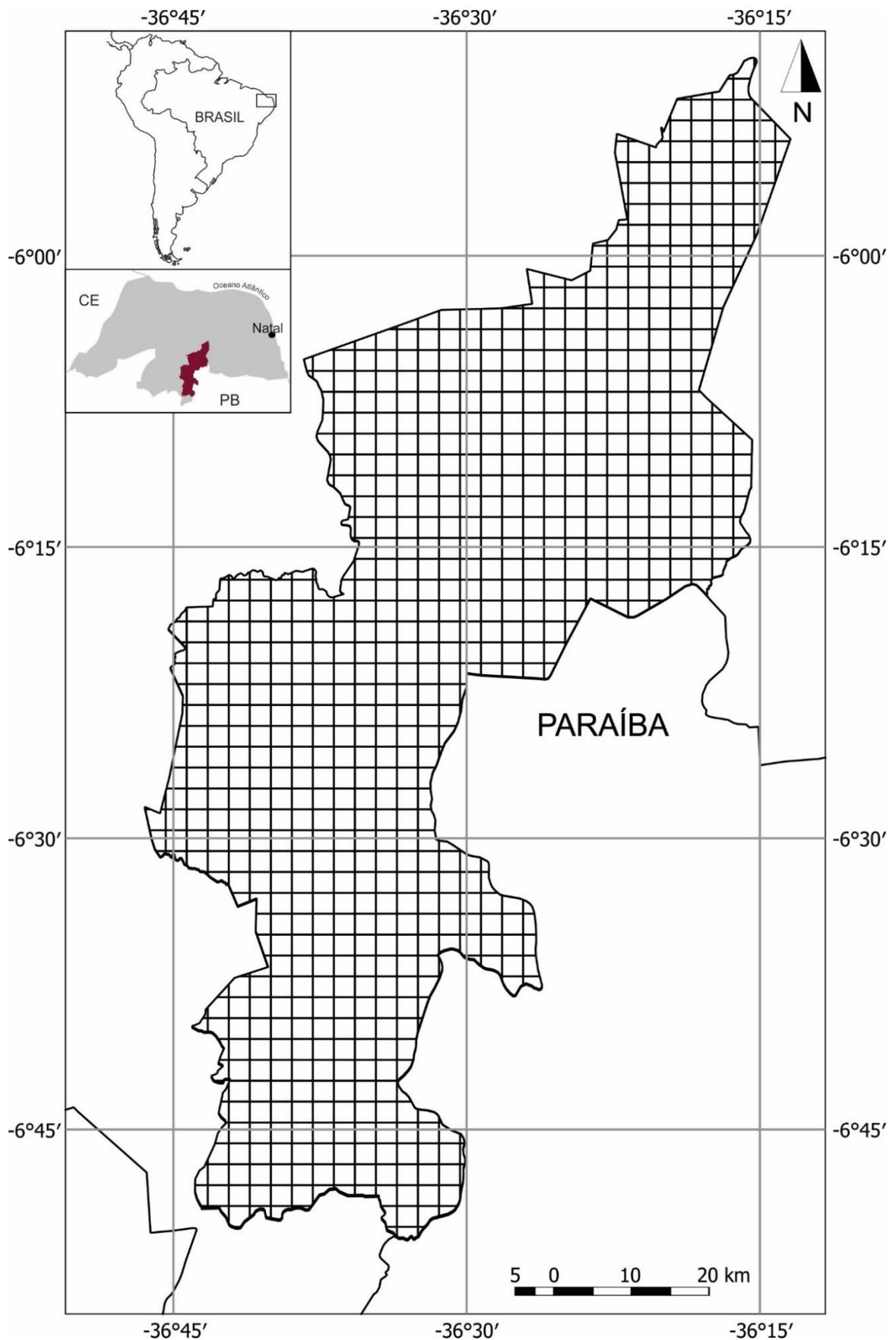


Figura 27 – Grid com 824 polígonos criado para aplicação do método de avaliação quantitativa da geodiversidade de Pereira *et al.* (2013) na área de estudo, malha de 2x2 km.

Após a operação de todos os dados, criando os sub-índices desejados, é feita a somatória de forma a gerar o índice total, que é interpretado no método aplicado como o índice de geodiversidade.

Este índice pode ser apresentado em escalas de cores ou texturas, em um mapa temático, através da classificação por categorias simplificadas ou intervalares.

Como forma de melhorar a exibição do mapa, pode-se realizar uma interpolação. Para isso, os polígonos são convertidos em pontos centrais, que carregam em seus atributos os valores correspondentes do índice de geodiversidade obtido. Por fim, é gerado um mapa através do uso de krigagem, ou densidade de kernel.

A partir de sua fórmula, a densidade de kernel é dada pelo somatório dos eventos. Assim, quanto mais próximos forem os pontos, uma densidade maior será obtida, o que no método aqui empregado representa uma maior diversidade de elementos abióticos e, portanto, um índice de riqueza de geodiversidade proporcionalmente maior.

Supõe-se que $u_1, u_2, u_3, \dots, u_i$ sejam localizações de n pontos de ocorrência de eventos na região analisada. A densidade kernel é calculada, portanto, considerando os eventos contidos no raio h em torno de cada ponto u , de acordo com a distância d entre sua posição e da i -ésima amostra, segundo um fator multiplicador K , conforme é demonstrado na equação abaixo.

$$f_h(u) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d(u_i; u)}{h}\right), d(u_i; u) \leq h$$

K – função Kernel, h – raio de busca, u – posição do centro de cada célula,
 u_i – posição da i -ésima amostra, n – número total de focos

O resultado cartográfico obtido é um mapa coroplético, cujas unidades representam, em suas áreas, índices de geodiversidade diferentes, refletindo uma concentração maior ou menor de elementos da natureza abiótica. Quanto maior o número de elementos numa área, maior a densidade de ocorrência dos elementos e maior, portanto, é o índice de riqueza da região.

A figura 28 mostra uma simplificação esquemática do processo de análise quantitativa proposto no método de Pereira *et al.* (2013).



Figura 28 – Representação simplificada do método de análise quantitativa da geodiversidade proposto por Pereira *et al.* (2013).

Como forma de comparação dos resultados do primeiro método, também foi aplicada neste trabalho a metodologia proposta por Forte *et al.* (2018). Esta baseia-se na integração de diversas fontes cartográficas na compilação da diversidade abiótica de uma região. Diferentemente de outros métodos existentes na literatura, este não lança mão de gridagem para a avaliação da riqueza de uma região. Contudo, baseia-se também no uso de recursos de geoprocessamento.

Na primeira etapa de execução do método ocorre a união das informações, que em sua essência representam graficamente os elementos abióticos da região estudada. Assim, o produto primário gerado é um mapa de polígonos que correspondem à riqueza da geodiversidade local. A partir deste mapa são gerados pontos centrais em cada um dos polígonos resultantes, o que fornece um mapa de concentração pontual da riqueza desses elementos. Que, por fim, passa por um processamento de densidade kernel, resultando, igualmente ao primeiro método, em um mapa coroplético.

A figura 29 sintetiza o método proposto por Forte *et al.* (2018).

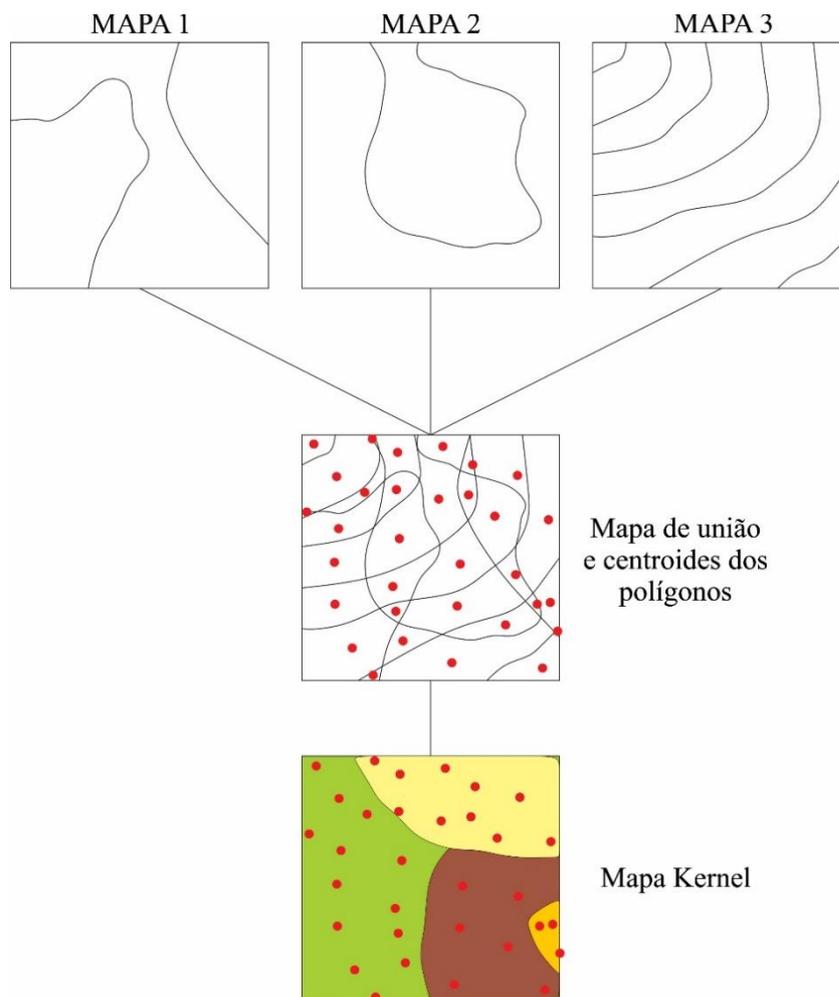


Figura 29 – Representação simplificada do método de análise quantitativa da geodiversidade proposto por Forte *et al.* (2018).

A principal problemática da aplicação deste método é que ele se restringe ao uso de fontes poligonais de informações. Assim, neste trabalho, fez-se uma modificação do método de forma a incluir outras fontes de dados cartográficos, que possuem sua representação gráfica de forma pontual.

Após a geração dos centroides no mapa de união dos polígonos, realizou-se a operação de soma destes pontos aos pontos de ocorrência de outras informações para somente depois fazer a operação de interpolação por densidade kernel. A figura 30 sintetiza, portanto, o método de análise utilizado neste trabalho.

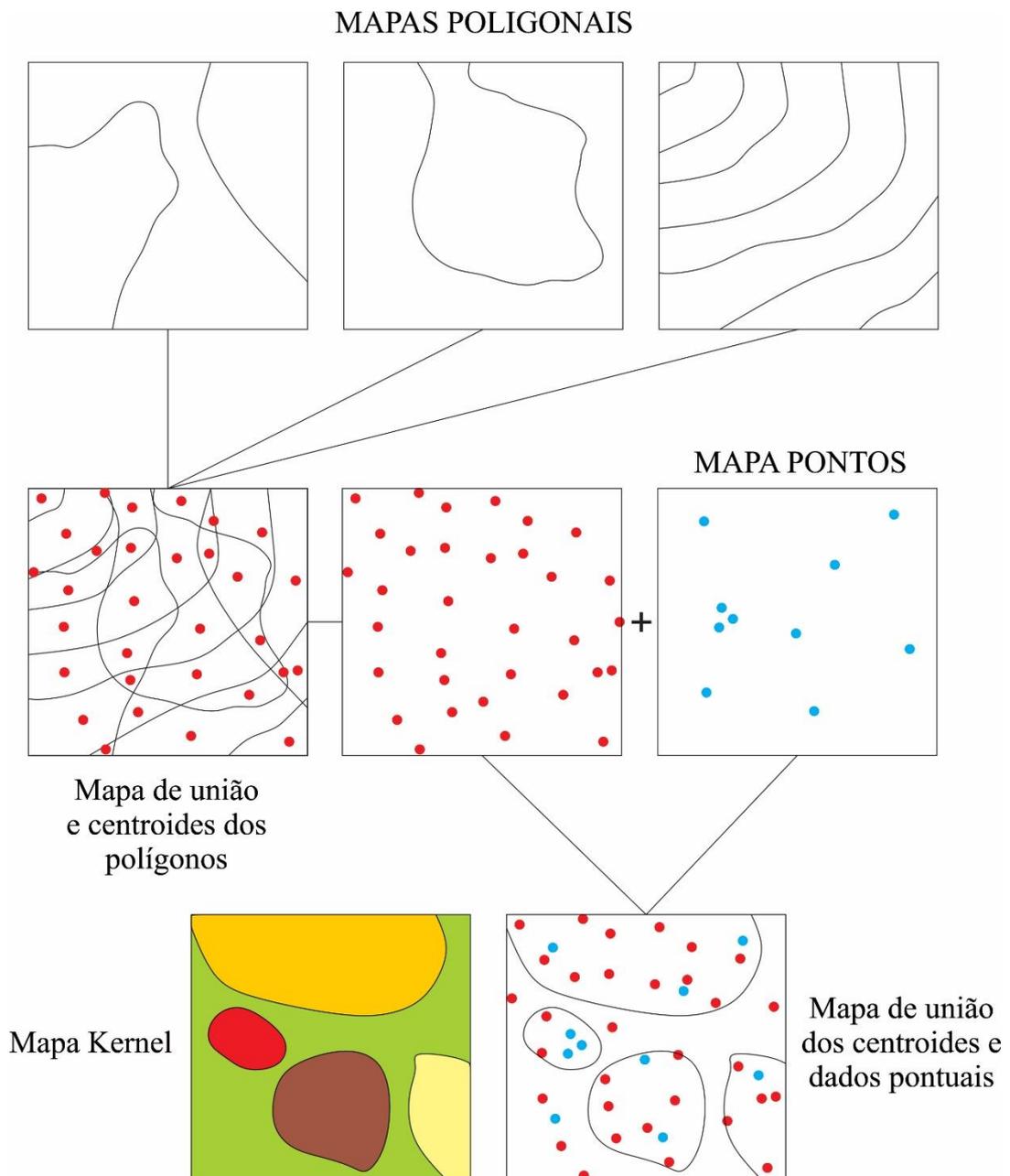


Figura 30 – Representação simplificada do método de análise quantitativa da geodiversidade aplicado neste trabalho.

Neste trabalho, os dois métodos foram processados no *software Open Source QGIS 3.0.2*, com o uso dos dados obtidos em fontes cartográficas de geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia. As fontes cartográficas utilizadas foram as que seguem, sendo dados poligonais:

- Geomorfologia – 1:500.000 (Diniz *et al.* 2017)
- Hidrografia – 1:500.000 (Fonte: Angelim *et al.* 2006)
- Litologia – 1:500.000 (Fonte: Angelim *et al.* 2006)
- Pedologia – 1:250.000 (Fonte: Base de dados do IBGE)

E dados pontuais os de:

- Ocorrências Minerais – 1:500.000 (Fonte: Angelim *et al.* 2006)

A escala do mapa final depende diretamente das escalas dos mapas a partir dos quais se obteve as informações espaciais utilizadas. Assim, os mapas de análise quantitativa produzidos neste trabalho resultam numa escala de 1:500.000.

Os elementos utilizados na análise são sintetizados a seguir e representados cartograficamente nos mapas das figuras 31 a 35.

– Geomorfologia

A compartimentação geomorfológica do estado do Rio Grande do Norte foi elaborada no trabalho do Diniz *et al.* (2017), que para a área do Geoparque Seridó apresenta sete unidades (figura 31).

O domínio principal na região é do Planalto da Borborema, caracterizado por seus relevos movimentados, de superfícies onduladas e inclinadas. As unidades morfoestruturais no Geoparque são a Depressão Interplanáltica do Acauã e os compartimentos Potengi-Trairi, Seridó, Monte das Gameleiras e Serra de Santana. Esta última, localizada na parte norte da região, é de grande destaque na paisagem local, com platôs que atingem 700m de altitude.

A Depressão Sertaneja também é presente na área pela ocorrência da Depressão Interplanáltica Piranhas-Açu e por *inselbergs* e campos de *inselbergs* que estão presentes nas porções sul e sudoeste do Geoparque.

– Hidrografia

Por estar presente numa região de clima semiárido, a hidrografia na área do Geoparque Seridó é incipiente, com apenas alguns corpos de água presentes e pequenos cursos de rios (figura 32) que, por vezes, são classificados como intermitentes (Angelim *et al.* 2006).

– Litologia

Existem, no contexto da área de estudo desta dissertação, duas litologias principais: xistos e granitos. Contudo, ocorrem ainda dioritos, gabros, basaltos, quartzitos, metaconglomerados, gnaisses, arenitos e conglomerados (figura 33).

A base da estratigrafia local é o Complexo Caicó, sobreposto pelo Grupo Seridó (da base ao topo, formações Jucurutu, Equador e Seridó), que possui diversos pegmatitos brasileiros encaixados. Granitos inequigranulares a porfiríticos completam a geologia do Proterozoico do Geoparque, que inclui ainda evidências de vulcanismo (Diabásio Rio Ceará-Mirim e Basalto Macau) e coberturas cenozoicas, encontradas principalmente no topo da Serra de Santana (Angelim *et al.* 2006).

– Pedologia

O perfil dos solos na área não é muito variável, havendo uma predominância dos Neossolos Litólicos Eutróficos e dos Luvisolos Crômicos Órticos. A Serra de Santana se destaca pelo solo Latossolo Amarelo Distrófico (figura 34).

– Ocorrências Minerais

A região do Seridó potiguar é reconhecida pelo seu potencial mineiro, explorado há, pelo menos 70 anos, com a instalação das primeiras minas de scheelita, por exemplo. O mapa de ocorrências minerais comprova essa afirmação, mostrando ocorrências de 29 diferentes produtos, como Água-Marinha, Ouro, Berilo, Caulim, Granada, Quartzo, Turmalina, além de extração de rochas ornamentais e outras (Angelim *et al.* 2006). Foram diferenciadas ocorrências simples de depósitos.

A maioria das ocorrências mapeadas está localizada nas regiões sul e centro-leste da área (figura 35).

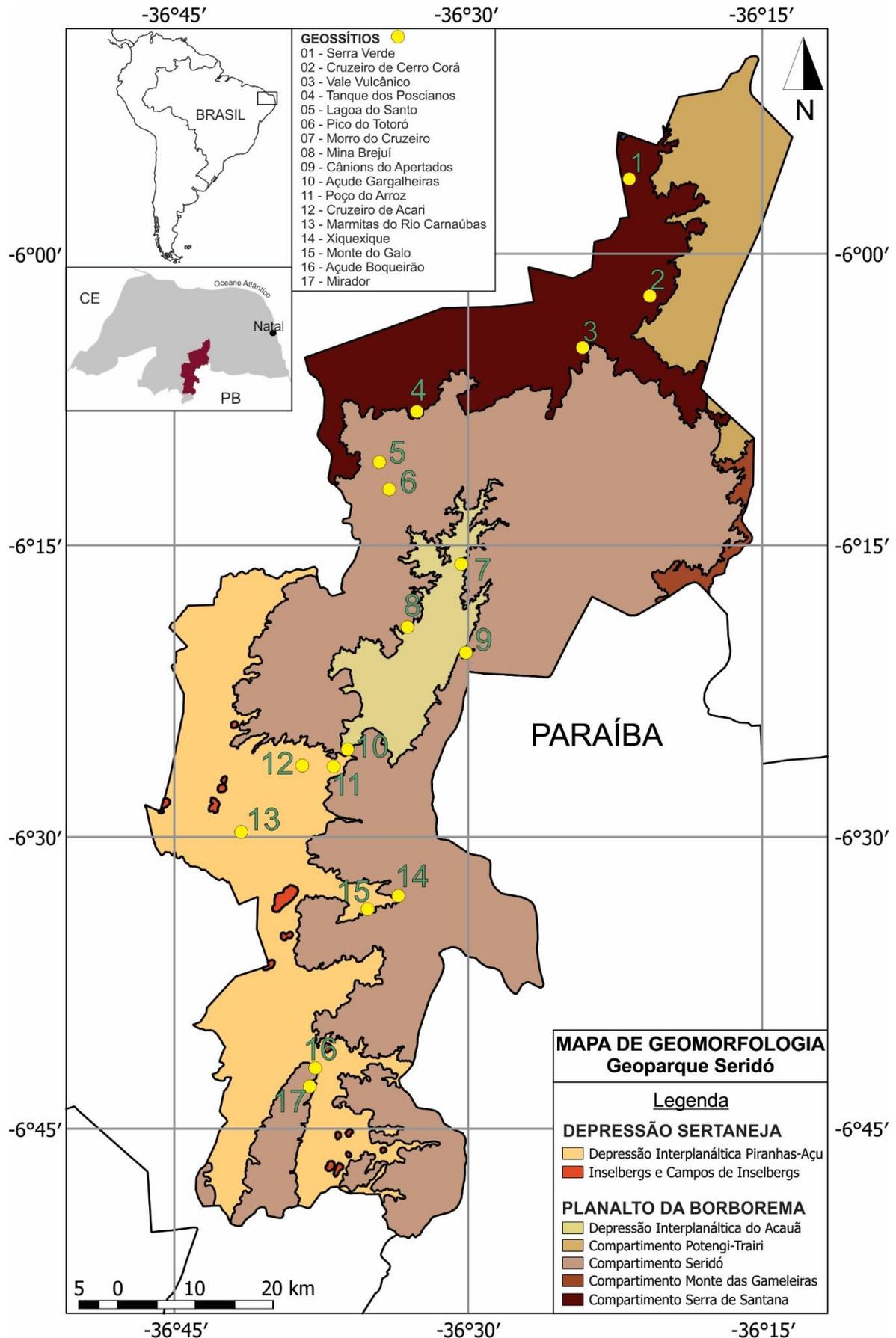


Figura 31 – Mapa de geomorfologia da área do Geoparque Seridó. Fonte: Diniz *et al.* (2017).

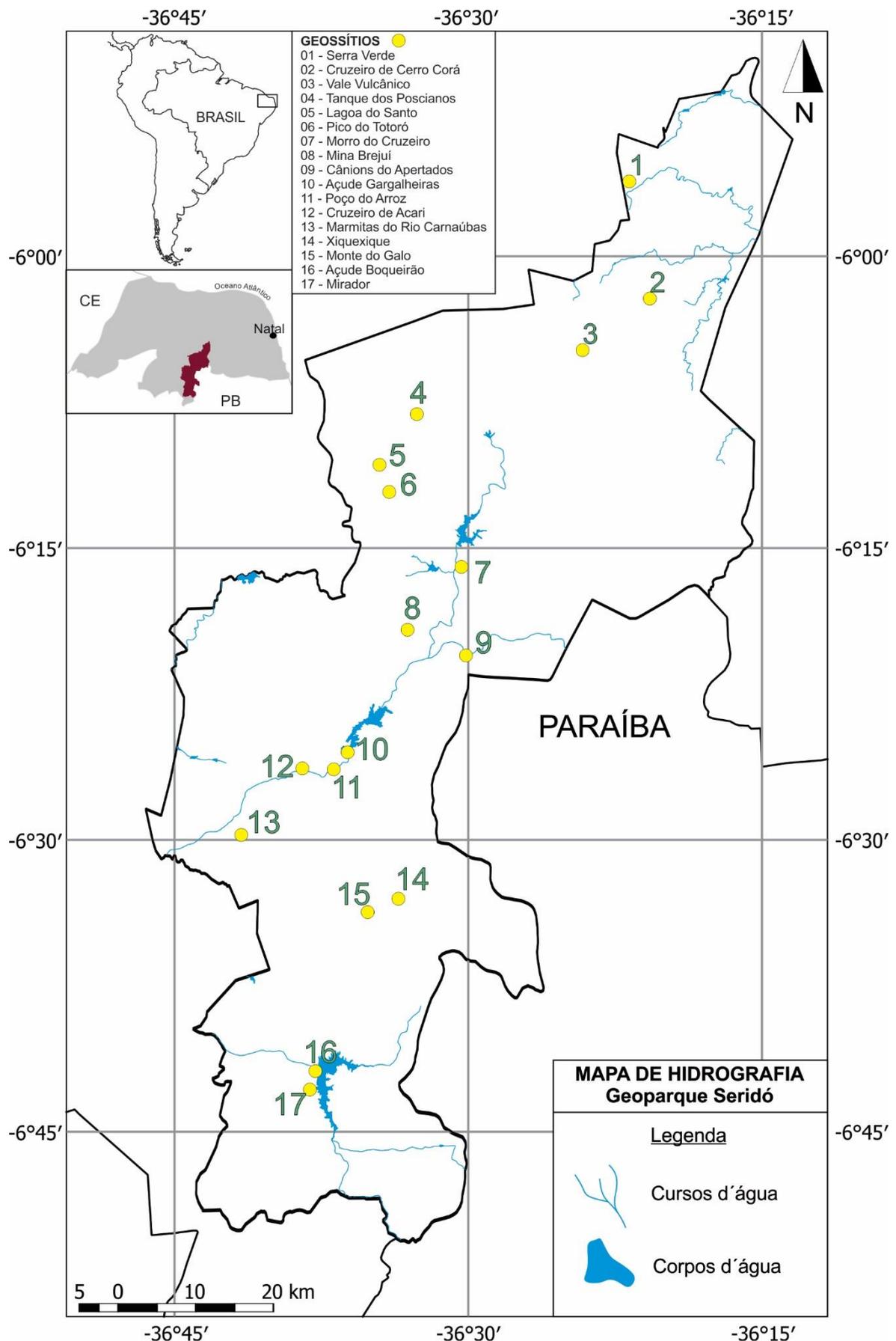


Figura 32 – Mapa de hidrografia da área do Geoparque Seridó. Fonte: Angelim *et al.* (2006).

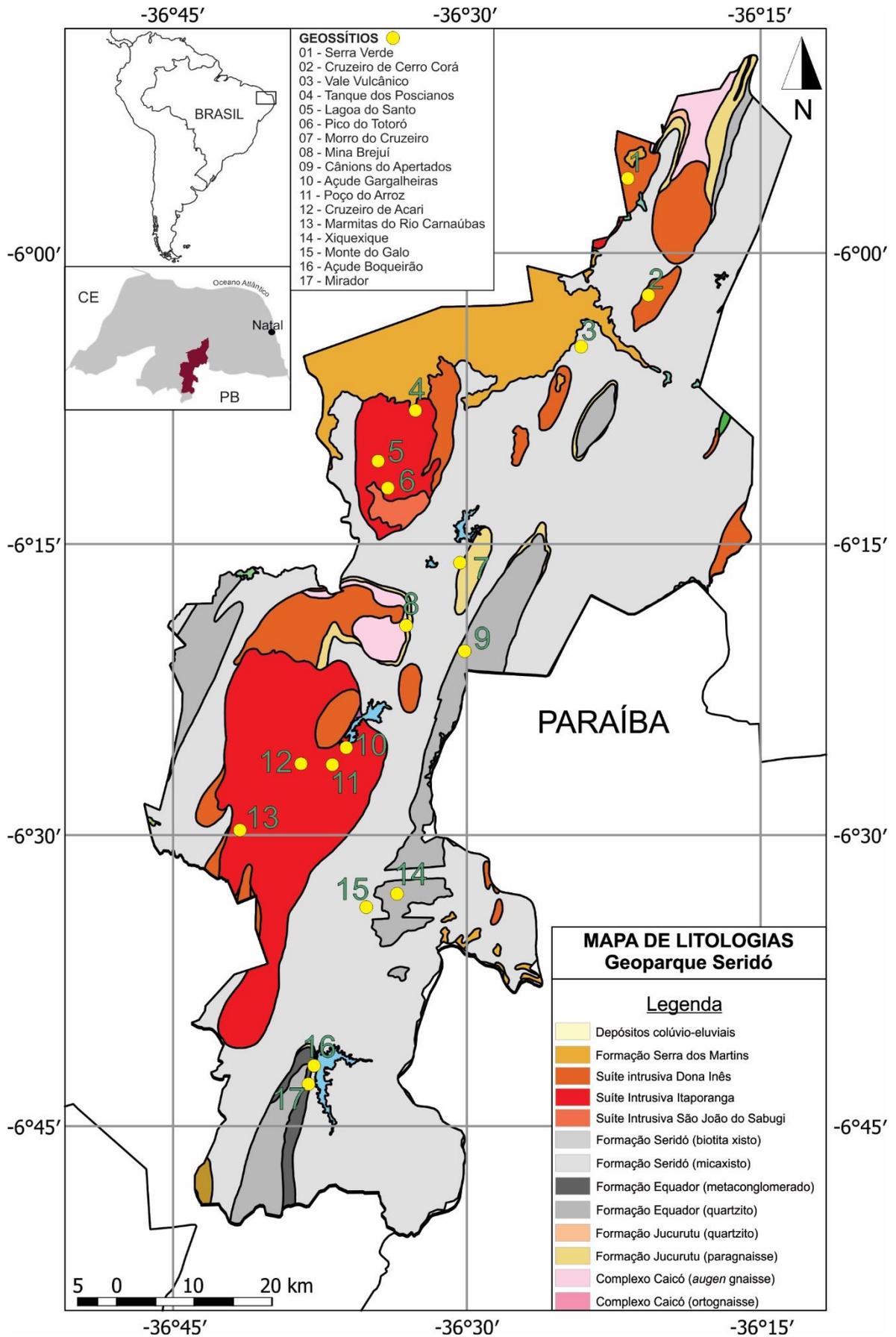


Figura 33 – Mapa de litologia da área do Geoparque Seridó. Fonte: Angelim *et al.* (2006).

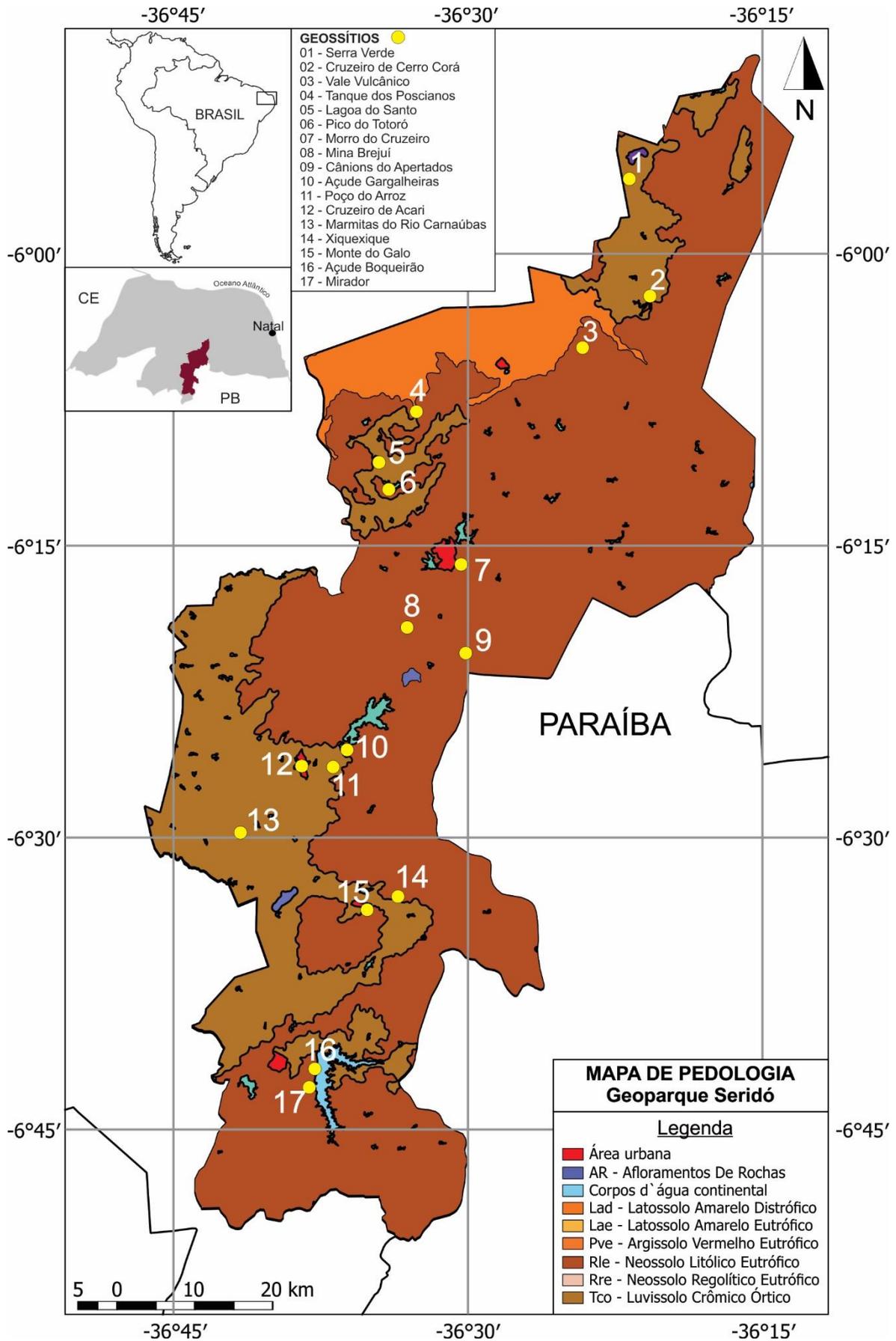


Figura 34 – Mapa de pedologia da área do Geoparque Seridó. Fonte: IBGE.

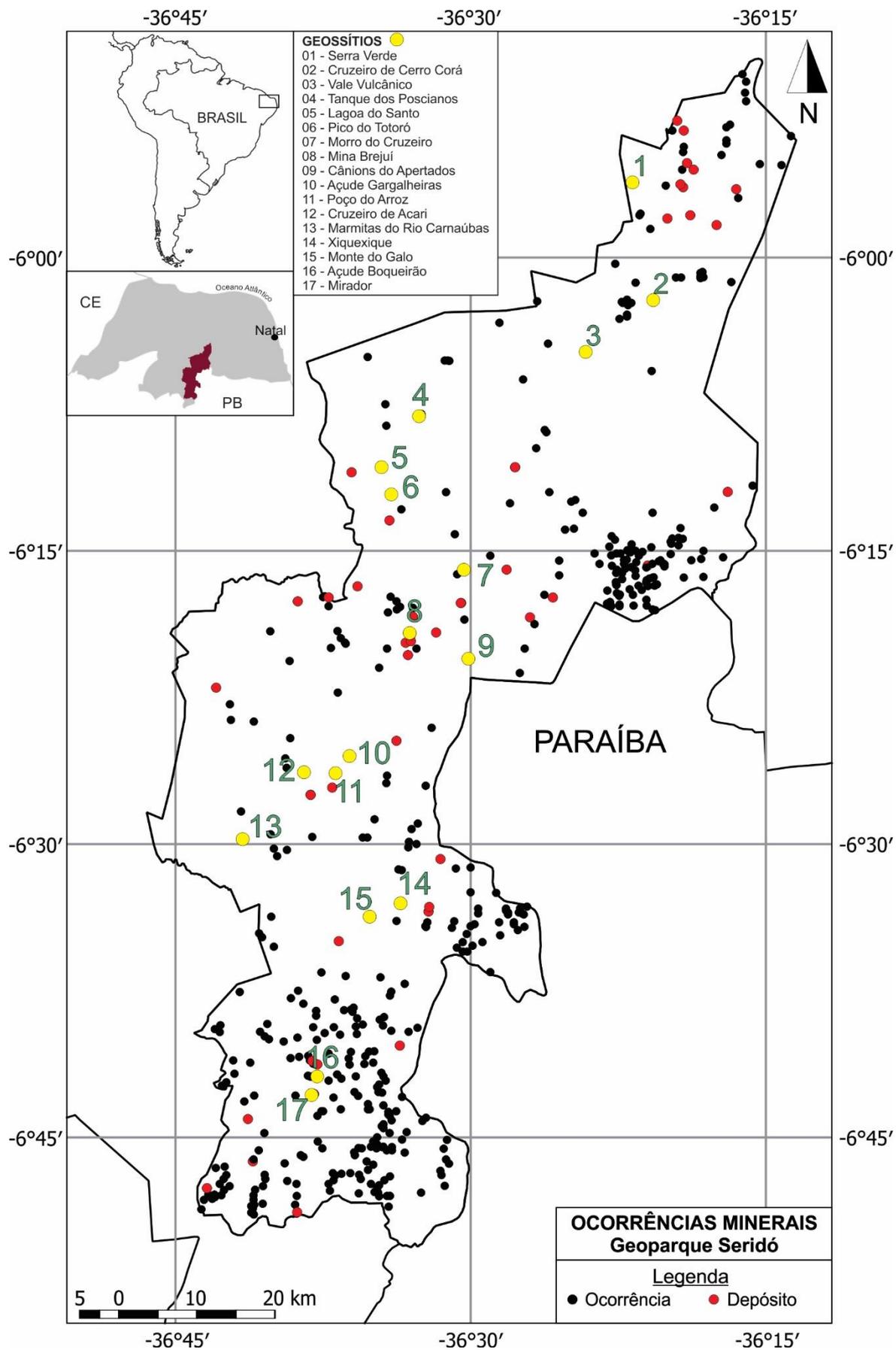


Figura 35 – Mapa de ocorrências minerais da área do Geoparque Seridó. Fonte: Angelim *et al.* (2006).

4.5 FOTOGRAMETRIA

O uso de tecnologias modernas e avançadas em ciência é algo almejado pela grande maioria dos pesquisadores, nas mais diversas áreas do conhecimento. Nas geociências, a evolução do pensamento geológico e a criação de novas técnicas estão sempre correlacionadas.

Uma vez que as ciências em geral possuem um caráter multidisciplinar, métodos desenvolvidos em diferentes áreas acabam sendo aplicados, com resultados compatíveis, em outras. A saber, a tomografia computadorizada, desenvolvida com finalidades médicas é utilizada na paleontologia desde a década de 1980, facilitando processos de criação de modelos e protótipos 3D (Azevedo & Carvalho 2009).

Em geodiversidade e geoconservação, esta observação não é diferente, visto que tecnologias modernas e interativas são consideradas fundamentais na perpetuação do conhecimento geológico e fortes aliadas na divulgação e proteção dos elementos da natureza abiótica.

O trabalho de Ravanel *et al.* (2014) lança mão da técnica de *Laser Scanning* para o mapeamento de geomorfossítios na região dos Alpes, indicando que além de fornecerem informações científicas descritivas para o local imageado, metodologias tridimensionais também são úteis no desenvolvimento de documentos educativos, turísticos e de popularização das geociências.

Ao relatar sobre novas tecnologias que podem ser utilizadas no gerenciamento do patrimônio geológico, Cayla (2014) indica três técnicas principais para a produção de modelos tridimensionais: lasergrametria, tomografia de raio-x e fotogrametria.

Este último foi utilizado por Santos (2017) no mapeamento de lugares de interesse geológico no norte de Portugal, a partir da aquisição de imagens aéreas por veículos aéreos não tripulados, ou drones.

A fotogrametria enquanto técnica de produção de informação surgiu na segunda metade do século XIX, experimentando avanços paralelamente com a melhoria da qualidade dos sensores e câmeras fotográficas, até chegar ao ambiente computacional dos dias atuais, da fotogrametria digital (Coelho & Brito 2007).

Pode ser considerada uma técnica de sensoriamento remoto e baseia-se no registro da interação da energia eletromagnética com o objeto imageado em um espaço bidimensional, que é a fotografia. O espaço tridimensional é então reconstruído a partir das informações contidas nos *pixels* das fotos. Quanto maior a resolução, qualidade, nitidez da imagem, mais informações estarão disponíveis para o uso da técnica.

Por ser um método de fácil aplicação, baixo custo, devido à necessidade apenas de câmera fotográfica e programa de computador específico, e por possuir diversas aplicações possíveis, foi definida a fotogrametria como técnica para imageamento tridimensional neste trabalho de mestrado.

Para isto, foi escolhido o geossítio Morro do Cruzeiro, localizado na cidade de Currais Novos. Trata-se de um corpo de pegmatito inequigranular, de direção aproximadamente N-S, correlato aos diques pegmatíticos da Província Borborema e intrudido em um micaxisto da Formação Seridó.

Sobre o pegmatito existe um cruzeiro e, por isso, o local recebe peregrinações e celebrações religiosas. É um dos principais pontos turísticos da cidade.

Na execução do método foram obtidas 229 fotografias com o uso de uma câmera fotográfica compacta superzoom Nikon P520. As fotos foram capturadas com resolução média de 8 megapixels e em diferentes posições e ângulos ao redor do afloramento (figura 36). Também foram utilizadas 12 imagens aéreas capturadas com o uso de drone Phantom 3 Professional equipado com câmera 4k. Essas imagens foram cedidas pelo fotógrafo currais-novense Getson Luís.

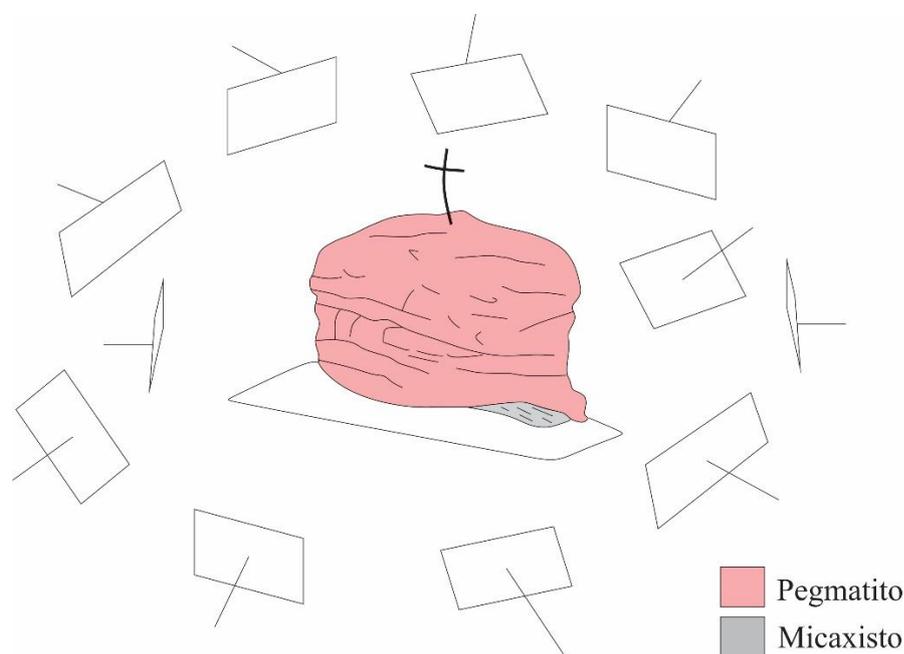


Figura 36 – Esquema de posicionamento das imagens ao redor do geossítio Morro do Cruzeiro e geologia simplificada

Após a aquisição das fotos, elas foram importadas para o *software* Agisoft Photoscan 1.4.1, ambiente computacional em que todos os procedimentos foram realizados. A primeira etapa do processamento consistiu do alinhamento das imagens (figura 37A) a partir da correlação dos pixels analisando-os par a par. Foi obtido, com sucesso, o alinhamento de 233

das 241 imagens utilizadas. Com isso, foi gerado um modelo de nuvem de pontos esparsa (figura 37B), consistindo de 228.034 pontos.

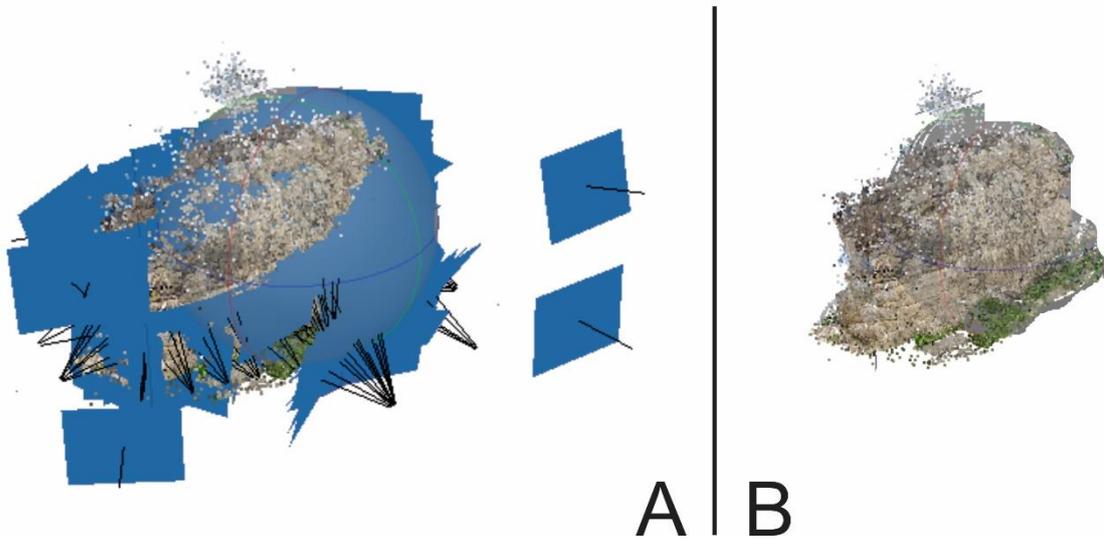


Figura 37 – A) Alinhamento das imagens utilizadas no modelo; B) Nuvem de pontos esparsa.

Em etapa seguinte foi gerado uma nuvem de pontos mais densa, que tem a função de comprimir e fornecer mais informações para o modelo. Com isso, foram criados 7.752.269 pontos.

A criação de uma malha triangular a partir da união dos pontos da nuvem densa foi a quarta etapa realizada para a produção do modelo tridimensional. Nisto, o processamento computacional gerou 366.581 polígonos que tem como objetivo reproduzir a forma aproximada do objeto imageado, no caso o geossítio Morro do Cruzeiro. A figura 38 mostra em detalhe a triangulação do modelo.

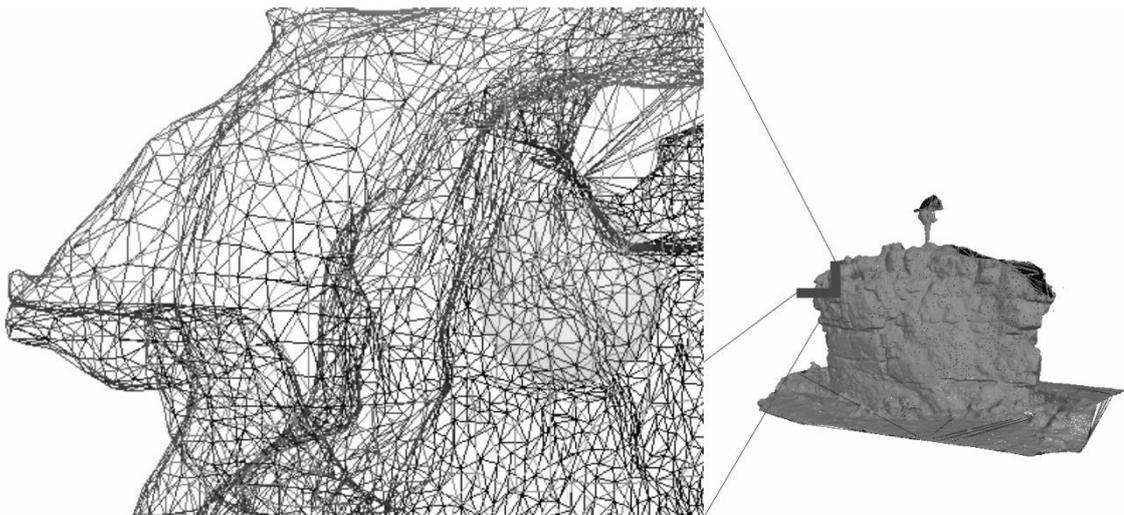


Figura 38 – Detalhe da malha triangular gerada no processamento do modelo 3D

Por fim, é criada a textura do modelo, cuja finalidade é gerar um modelo mais semelhante com a realidade do objeto imageado. Isso é possível pelo uso das informações fotográficas das imagens alinhadas. Assim, o modelo torna-se bastante realístico e pode ser aplicado com diferentes funções.

O modelo foi salvo em diversos formatos para visualização, como as extensões *.pdf*, *.obj* e *.stl*, estes últimos compatíveis com a maioria das impressoras 3D existentes no mercado, o que possibilita a criação de um protótipo em resina líquida ou gesso, abrindo um grande leque de aplicações para o método em projetos de divulgação e educação geocientífica, por exemplo.

5. RESULTADOS

Os estudos da geodiversidade compreendem diversas etapas para a avaliação completa dos elementos que compõem a diversidade abiótica de uma região. São fundamentais para isso a descrições dos lugares de interesse geológico, assim como a determinação de seus valores qualitativos e quantitativos, além da proposição de ações de geoconservação.

Na região do Seridó, interior do Rio Grande do Norte, os processos geológicos permitiram a existência de uma geodiversidade singular, com relacionamento direto com as comunidades locais e de importância para a diversidade natural do planeta. Neste contexto é que se estabelece o Geoparque Seridó, área de estudo deste trabalho.

A primeira proposta para o Geoparque Seridó, de Nascimento & Ferreira (2012), propunha a definição de uma área com cerca de 6.000 km², composta por 13 municípios e 25 geossítios. No trabalho de Medeiros (2015), a mais recente e atualmente trabalhada no contexto do Geoparque Seridó, este passou a contemplar 16 geossítios em 6 municípios.

A partir das atividades realizadas nesta pesquisa de mestrado, é sugerida uma proposta com 17 locais nos mesmos territórios municipais (figura 39), de norte a sul: Cerro Corá, Lagoa Nova, Currais Novos, Acari, Carnaúba dos Dantas e Parelhas.

A modificação no número de geossítios se deu pela retirada do Geossítio Mirante de Santa Rita do inventário, pela dificuldade de visitação e pela pouca representatividade geológica do local. Também foi incluído um novo local, o Tanque dos Poscianos, visitado a partir da orienta o de guias locais na cidade de Lagoa Nova, e foi dividido o Geossítio Pico do Totoró. Este compreendia uma área de grande extensão e complexidade. Assim, foram estabelecidos o Geossítio Pico do Totoró, com destaque geomorfológico, e o Geossítio Lagoa do Santo, com características paleontológicas e hidrológicas de importância.

A história geológica do Geoparque Seridó teve início no paleoproterozoico, no Período Riaciano (cerca de 2,2 Ga), com rochas ortoderivadas do Complexo Caicó (ortognaisses e *augen* gnaisses). Sobre esse embasamento foram depositados sedimentos que hoje compõem as rochas metassedimentares neoproterozoicas, do Período Criogeniano (em torno de 640 Ma), associadas ao Grupo Seridó, com paragnaisses, mármores e calcissilicáticas da Forma o Jucurutu; quartzitos e metaconglomerados da Forma o Equador e micaxistos da Forma o Seridó.

Afetando de forma discordante todas essas rochas metamórficas são encontrados diversos tipos de rochas ígneas neoproterozoicas, do Período Ediacarano (de 590 a 530 Ma), com destaque para granitos de granulometria fina a porf r tica e dioritos subordinados.

Inúmeros diques de pegmatitos cortam todas essas unidades, com rochas do Período Cambriano (cerca de 520 Ma).

Magmatismos mais recentes são encontrados sob a forma de diques de diabásio, do Período Cretáceo (com 130 Ma) e derrames de basalto, do Período Paleogeno / Época Oligoceno (com 25 Ma). Capeando todas essas unidades estão rochas sedimentares do Período Neogeno / Época Mioceno, como conglomerados e arenitos grossos da Formação Serra do Martins e sedimentos diversos (cascalhos, areias e argilas) de idade quaternária.

Os geossítios do Geoparque Seridó são representativos da geologia única da região, compreendendo exemplares do Grupo Seridó, como a Mina Brejuí, o Açude Boqueirão, os Cânions dos Apertados, o Mirador e o Xiquexique (640 Ma – Van Schmus *et al.* 2003); dos granitoides brasileiros, como o Pico do Totoró, Lagoa do Santo e Tanque dos Poscianos (591 Ma – Archanjo *et al.* 2013), Cruzeiro de Acari (577 Ma – Archanjo *et al.* 2013), Açude Gargalheiras, Poço do Arroz e Marmitas do Rio Carnaúba, representativas de um granito fino datado em 572 Ma (Archanjo *et al.* 2013). Completam ainda os representantes graníticos da história geológica da região, os geossítios Serra Verde (532 Ma – Souza *et al.* 2016) e o Cruzeiro de Cerro Corá (532 Ma – Hollanda *et al.* 2017).

Os pegmatitos encontrados nos geossítios Morro do Cruzeiro e Monte do Galo estão datados em 520 Ma (Baumgartner *et al.* 2006) e representam, neste contexto o início do Cambriano no Seridó potiguar. Por fim, evidenciam o Cenozoico na região os geossítios Vale Vulcânico, derrame de basalto de 25 Ma (Silveira 2006), e o Tanque dos Poscianos, onde na trilha de acesso são encontrados arenitos de 20 Ma (Lima 2008).

Ainda existem registros de fósseis de megafauna pleistocênica encontrados nos geossítios Serra Verde e Lagoa do Santo (Nascimento & Ferreira 2012).

A figura 40 resume em uma coluna litoestratigráfica a representatividade da geologia local por meio dos geossítios trabalhados nesta pesquisa.

Neste capítulo são feitas as descrições dos locais compreendidos pela proposta trabalhada, além de apresentação dos serviços ecossistêmicos identificados na avaliação qualitativa do Geoparque Seridó.

A avaliação quantitativa também é mostrada com base nos dois métodos aplicados, de Pereira *et al.* (2013) e Forte *et al.* (2018). Por fim, é apresentado o resultado da fotogrametria feita no Geossítio Morro do Cruzeiro, bem como as principais ameaças à geodiversidade observadas nos locais de interesse geológico visitados.

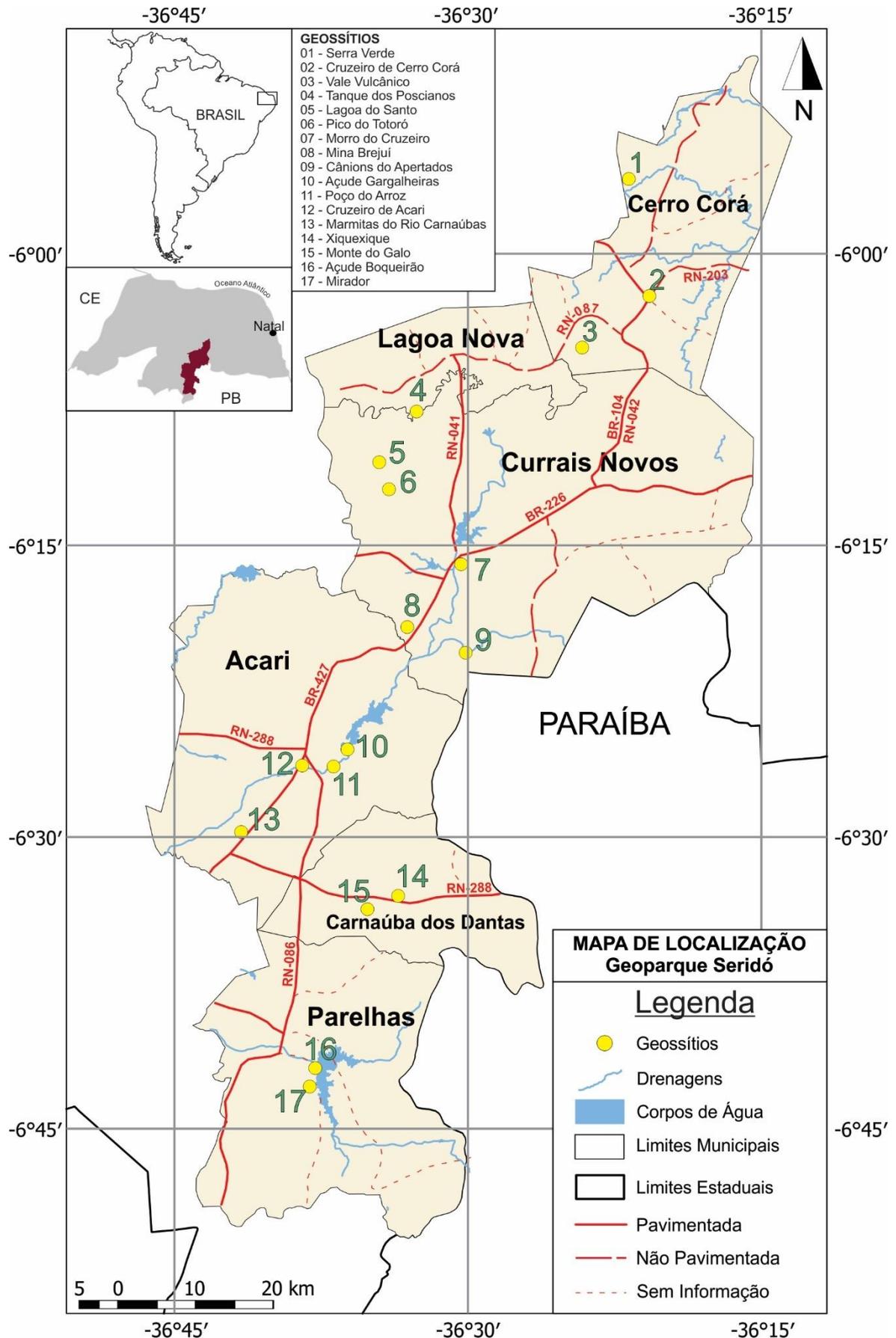


Figura 39 – Mapa de localização do Geoparque Seridó e os seus geossítios.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO GEOPARQUE SERIDÓ

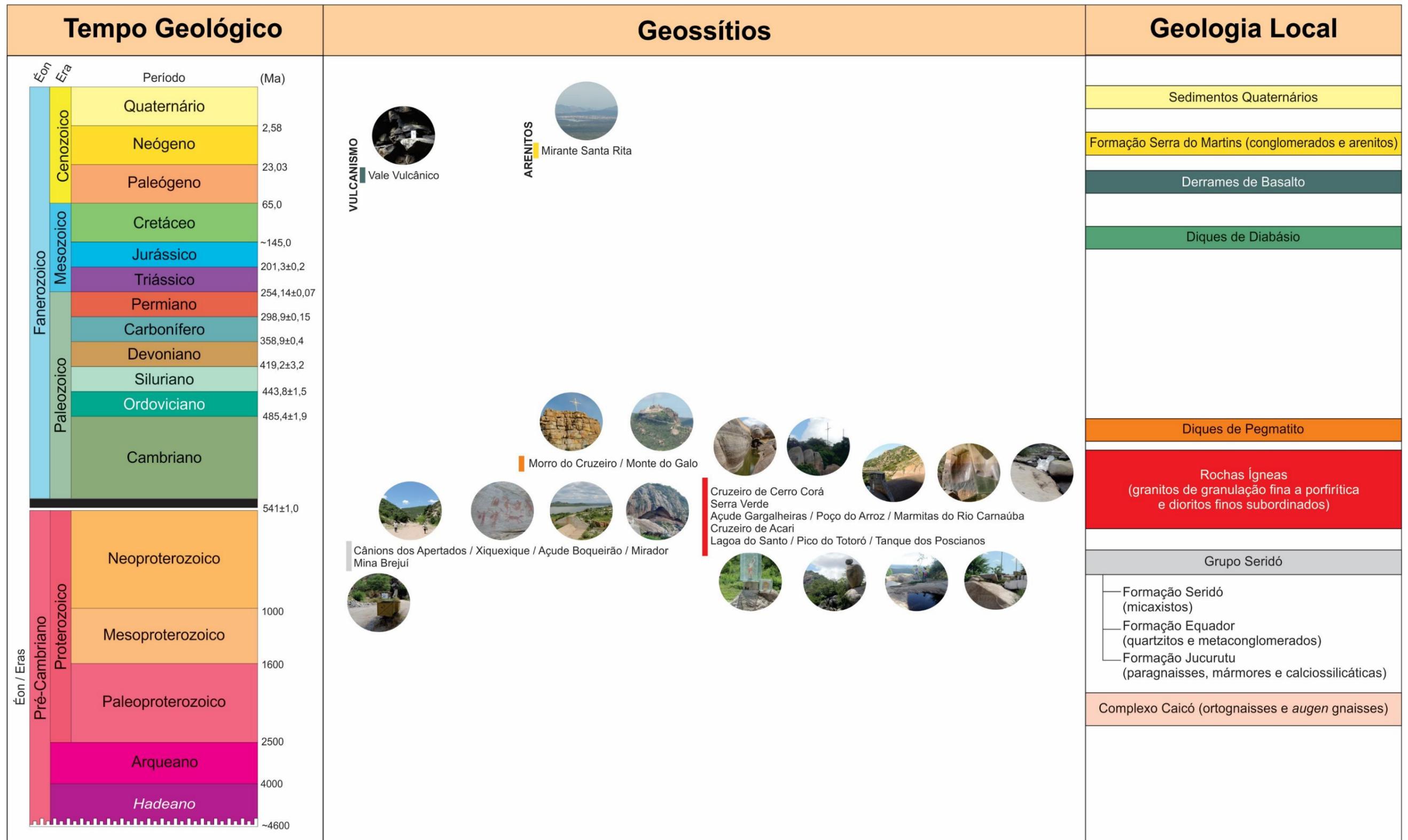


Figura 40 – Coluna estratigráfica do Geoparque Seridó.

5.1 DESCRIÇÃO DOS GEOSSÍTIOS

Nas etapas de campo realizadas, foram visitados 17 geossítios para integrar o Projeto Geoparque Seridó, destes, 15 já compunham propostas anteriores. Aqui são feitas as descrições geológicas, sobretudo macroscópicas, a partir do que foi observado *in loco*, adicionando-se informações geocronológicas disponíveis na literatura.

5.1.1 Serra Verde

Este geossítio, o mais a norte da área do Geoparque, está localizado a cerca de 15 km norte do centro da cidade de Cerro Corá, percorridos ao longo das rodovias estaduais RN-203 e RN-042, a maior parte do trajeto sendo composto por estrada de barro, ao longo do qual é possível observar diversos afloramentos de arenitos da Formação Serra do Martins, xistos da Formação Seridó e de corpos graníticos cortados por veios de pegmatito.

No geossítio a rocha predominante trata-se de um granito equigranular de granulometria média a grossa, composto, essencialmente, por quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita. São acessórios: titanita, zircão, apatita e alguns minerais opacos. Este granito está inserido no contexto do Plúton Serra da Macambira, associado com a Suíte Intrusiva Dona Inês, datado em 532 Ma por Souza *et al.* (2016). É cortado por diversos veios de pegmatito (figura 41).



Figura 41 – Veio de pegmatito cortando granito equigranular no Geossítio Serra Verde.
Foto: Matheus Lisboa.

Podem ser destacados no geossítio a diversidade de geoformas, como a Pedra do Caju, a Pedra da Baleia, a Pedra do Nariz e Cabeça de Cachorro/Dinossauro. Também no local existe um tanque, periodicamente preenchido por água, no qual foram encontrados fósseis de

megafauna pleistocênica. Ainda ocorrem registros rupestres encontrados em gruta formada por cavidades no granito.

A figura 42 mostra algumas dessas importantes feições no geossítio.

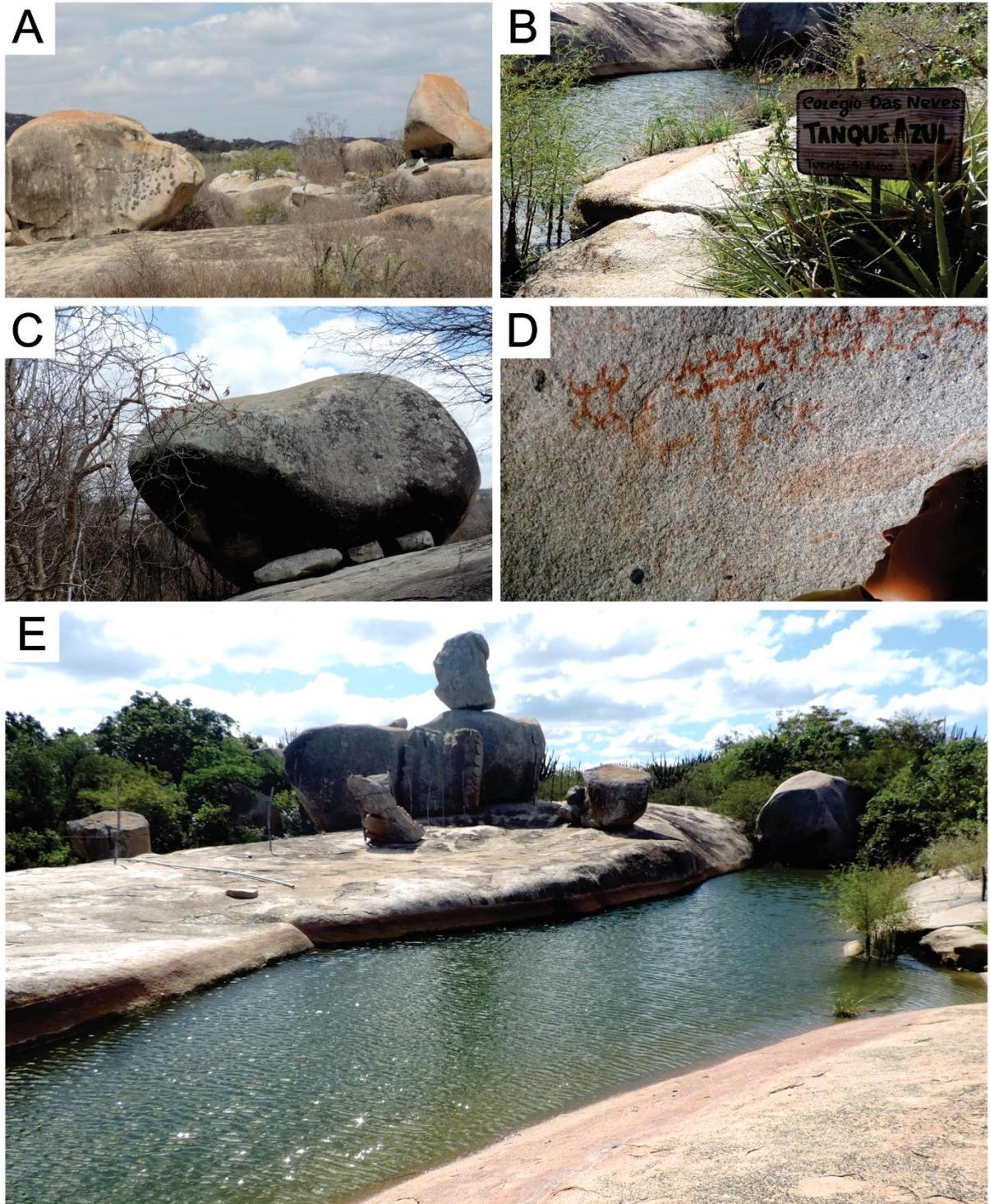


Figura 42 – Fotografias do Geossítio Serra Verde: A) Geoformas Cabeça de Cachorro/Dinossauro e Pedra do Nariz; B) Placa de identificação do Tanque Azul colocado por alunos de um colégio; C) Bloco rolado de granito onde são encontrados, em seu interior, registros rupestres (D); E) Vista geral do Tanque Azul e a geoforma Pedra do Caju. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.2 Cruzeiro de Cerro Corá

Ponto turístico, este geossítio está localizado na área urbana da cidade de Cerro Corá, próximo ao açude que abastece o município.

Geologicamente, é composto por inúmeros blocos e lajedos de granito inequigranular de granulometria média a grossa, composto essencialmente por K-feldspato, quartzo e plagioclásio. São acessórios: biotita, titanita, zircão, apatita e alguns opacos.

Correlacionado com a Suíte Intrusiva Dona Inês, este corpo foi datado por Hollanda *et al.* (2017) em 527 Ma.

Sobre o granito estão posicionados um cruzeiro e um mirante que dá visão à cidade e à Serra de Santana (figura 43).

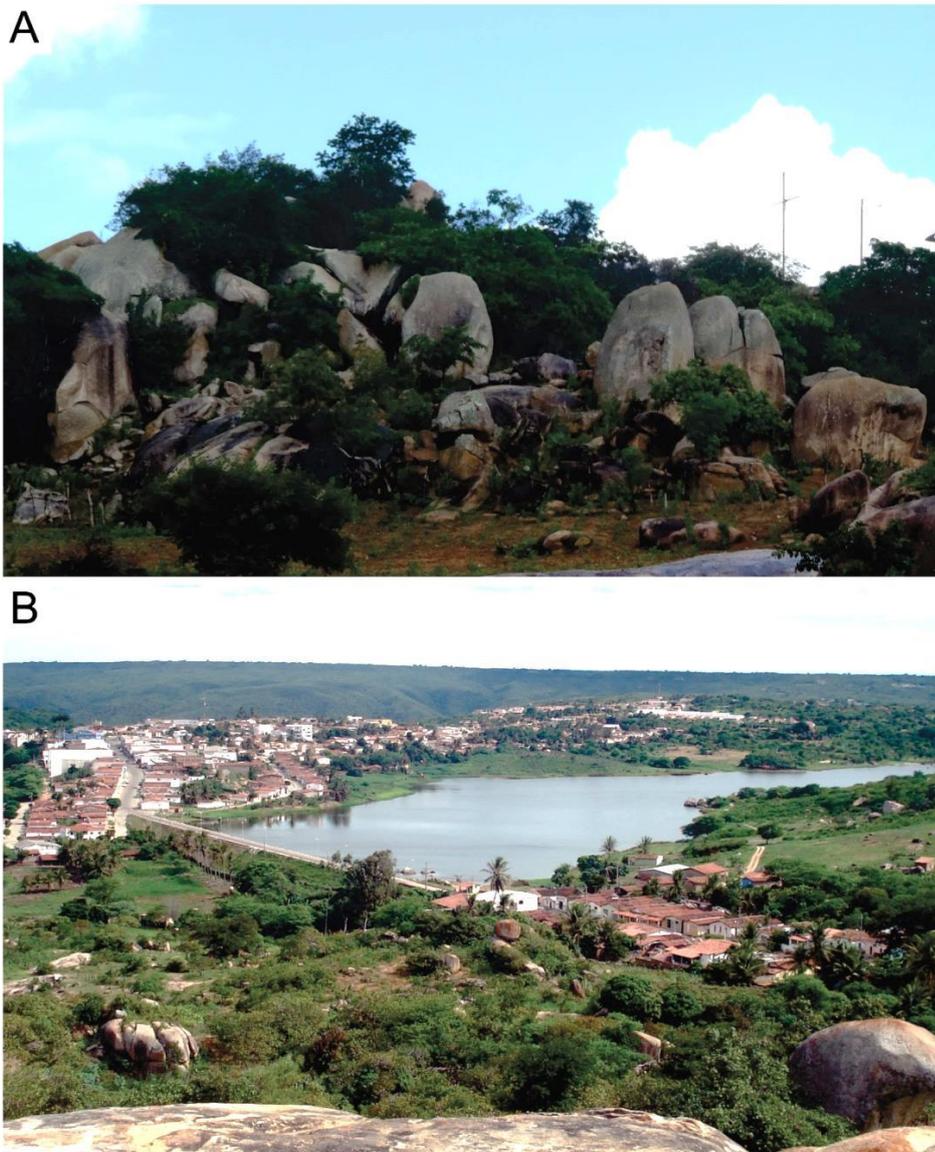


Figura 43 – Fotografias do Geossítio Cruzeiro de Cerro Corá: A) Vista dos blocos de granito sobre os quais estão posicionados o cruzeiro e o mirante da cidade; B) Vista a partir do mirante para o açude que abastece a cidade. Fotos: A) Matheus Lisboa; B) Marcos Nascimento.

5.1.3 Vale Vulcânico

A entrada deste geossítio está localizada a cerca de 15 km a sudoeste da cidade de Cerro Corá, percorridos ao longo da RN-087 e por estradas não pavimentadas. O caminho tem partes sinalizadas que direcionam para o geossítio. É preciso ainda percorrer uma trilha de, aproximadamente, 800m pela borda da Serra de Santana. Podem-se observar, ao longo do caminho, mudanças das rochas, mostrando o caminhamento em direção à base da Formação Serra do Martins, passando por arenitos, conglomerados, pegmatitos e xistos (figura 44).

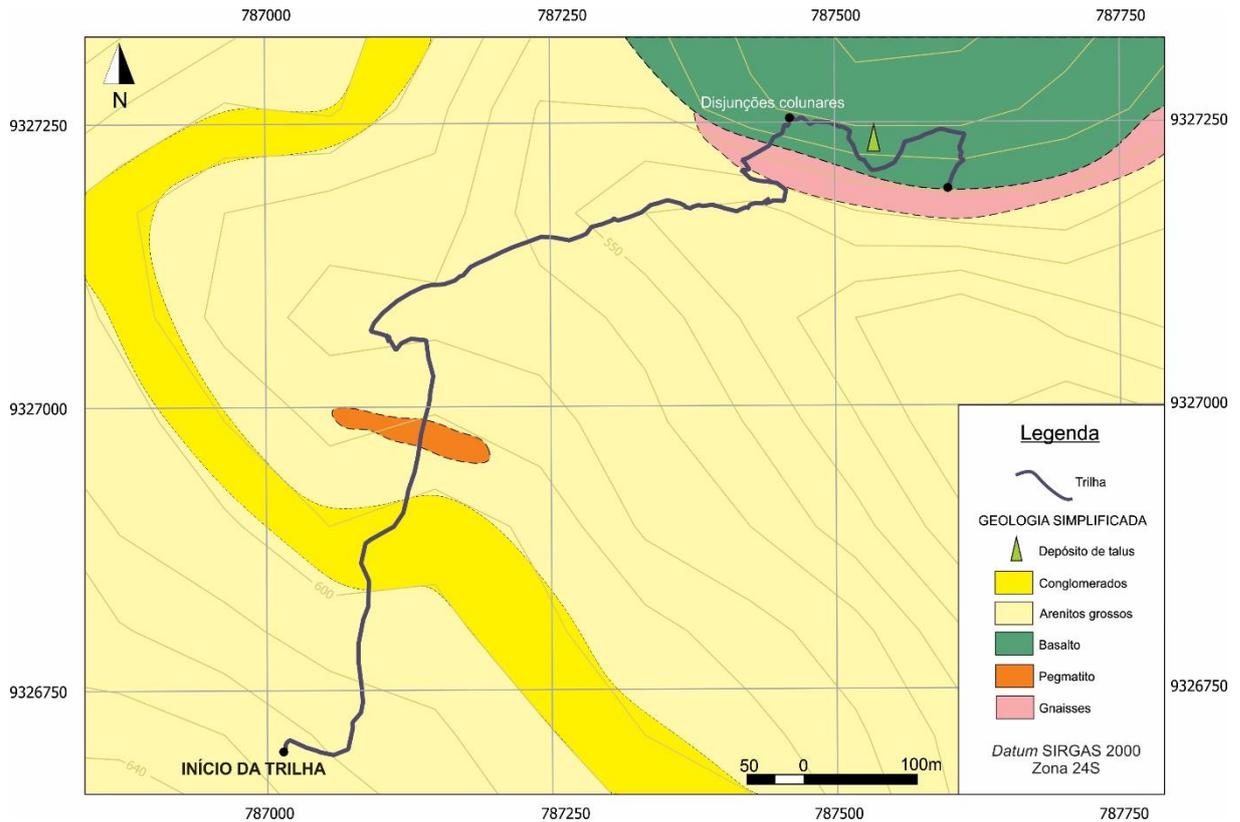


Figura 44 – Mapa geológico simplificado da trilha de acesso ao Geossítio Vale Vulcânico.

No geossítio, o destaque principal é a ocorrência de disjunções colunares basálticas de variadas inclinação, variando de horizontal a inclinada (70°SE). Blocos rolados de basalto formam depósitos de talus.

O derrame basáltico do local está relacionado o Vulcanismo Macau, datado em 25 Ma por Silveira (2006), cuja maior expressão em superfície é o Pico do Cabugi, *neck* vulcânico remanescente que está localizado a cerca de 42 km em linha reta NNE do geossítio. Também no geossítio são encontrados vestígios do embasamento regional, que é representado pelos gnaisses do Complexo Caicó.

A figura 45 traz algumas fotos do Vale Vulcânico.

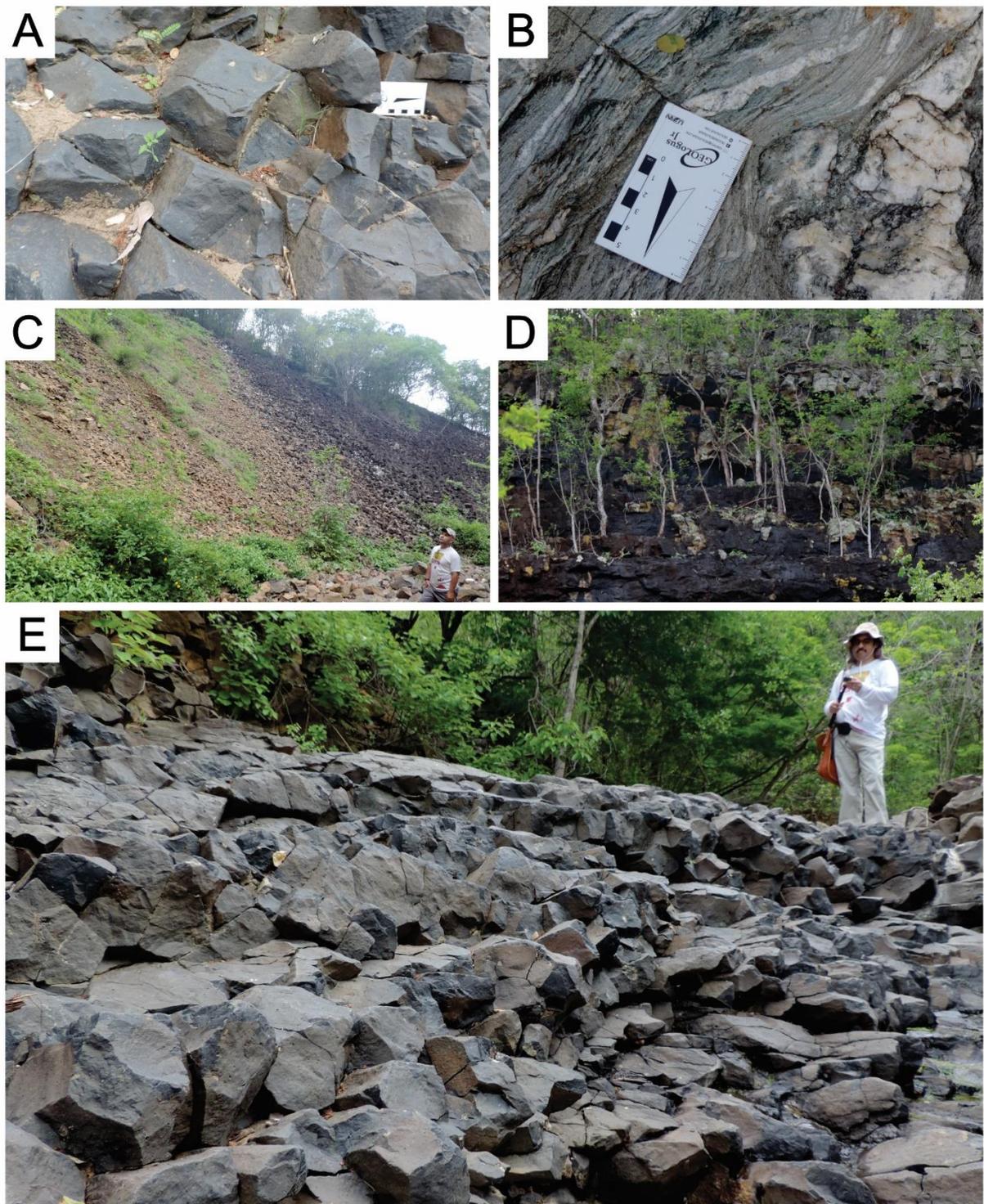


Figura 45 – Fotografias do Geossítio Vale Vulcânico: A) Detalhe das disjunções colunares; B) Ocorrência do embasamento do Complexo Caicó no geossítio, cortado por veios de quartzo; C) Depósito de talus formado por blocos de basalto rolados; D) Relação de dependência da biodiversidade local com a geodiversidade; E) Vista geral de disjunções colunares horizontais que ocorrem no geossítio. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.4 Tanque dos Poscianos

Localizado na região rural do município de Lagoa Nova, este geossítio está na borda da Serra de Santana. Para chegar até o local, é preciso percorrer cerca de 900 m em uma trilha na qual são observados corpos de arenitos grossos da Formação Serra do Martins e laterita associadas. No geossítio é encontrado granito inequigranular de granulometria média a porfírica, compostos essencialmente por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, anfibólio e biotita. O mapa da figura 46 simplifica a geologia ao longo da trilha percorrida até o local.

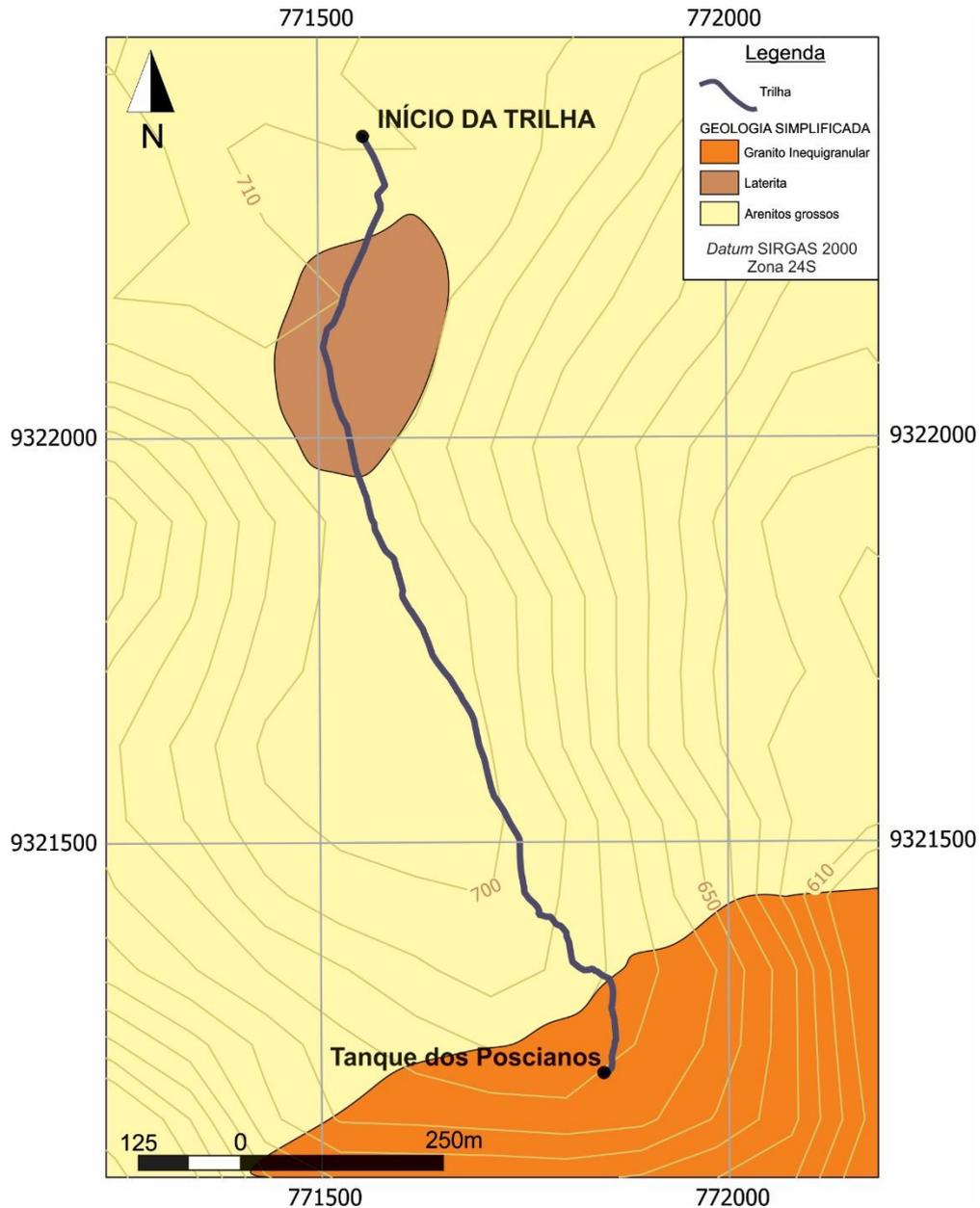


Figura 46 – Mapa geológico simplificado da trilha até o Geossítio Tanque dos Poscianos.

São observados ainda enclaves dioríticos e diques de pegmatito cortando a litologia principal, que, por sua vez, pode ser correlacionada com o Plúton Totoró, datado em 591 Ma

(Archanjo *et al.* 2013). Também no granito existem tanques que possibilitam o acúmulo de águas pluviais.

O principal destaque deste geossítio é geomorfológico, pois a partir dele tem-se vista panorâmica para toda a região sul do Geoparque Seridó, como mostrado nas fotos da figura 47.

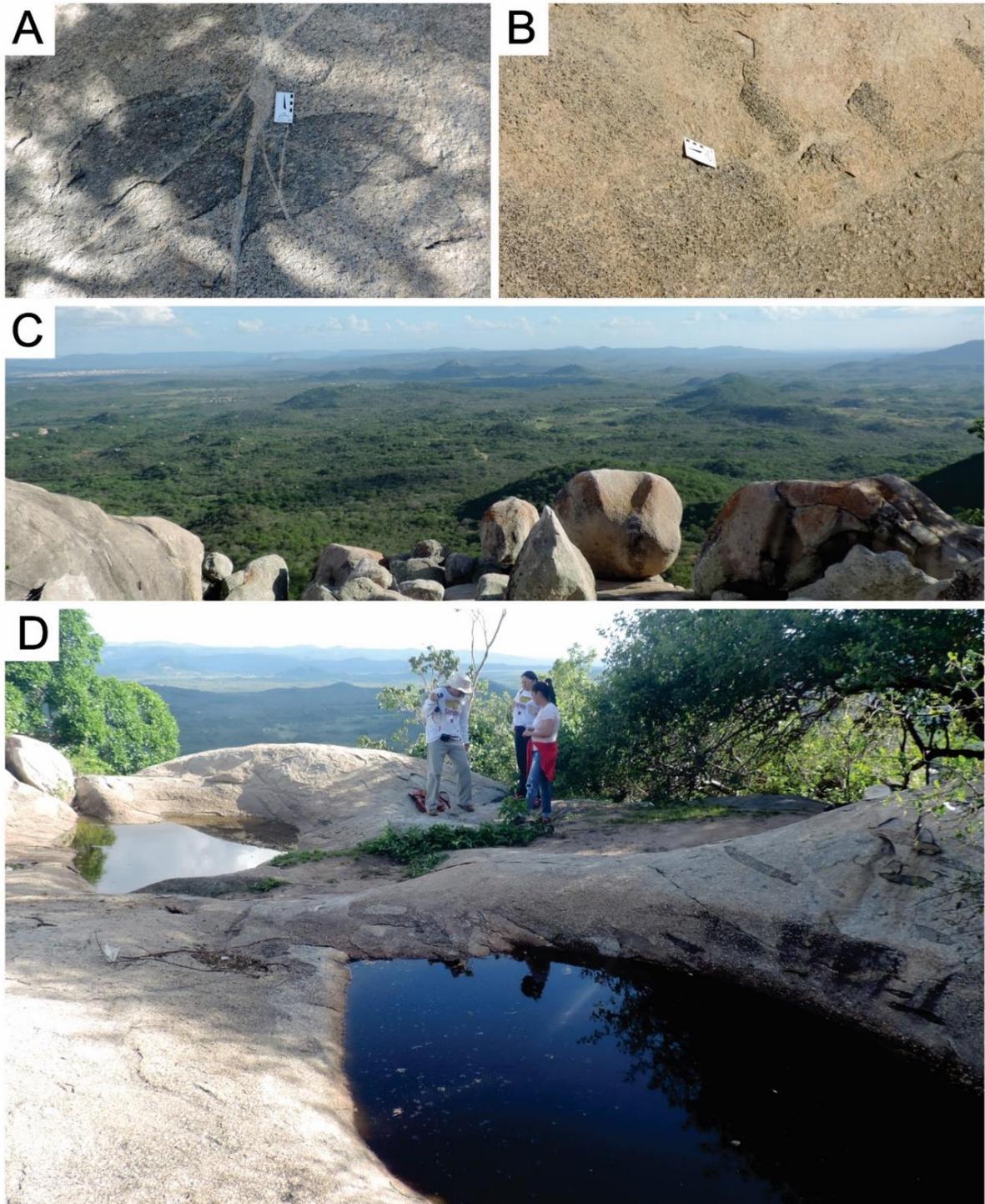


Figura 47 – Fotografias do Geossítio Tanque dos Poscianos: A) Enclaves dioríticos no granito e cortados por veios de pegmatito; B) Dois aspectos do granito encontrado no geossítio: fino (acima da escala) e porfirítico (abaixo); C) Vista, a partir do geossítio, para o lado sul do Geoparque Seridó; D) Tanques no granito preenchidos por água. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.5 Lagoa do Santo

Nas propostas anteriores do Geoparque Seridó, este geossítio estava compreendido no complexo do Geossítio Pico do Totoró. Contudo, pela sua distância e pelo destaque diferenciado, foi neste trabalho separado, compondo um novo geossítio.

O acesso é feito por estrada não pavimentada, distante cerca de 10 km do centro da cidade de Currais Novos.

No local predomina, geologicamente, blocos de granito inequigranulares de granulometria média a grossa, compostos, essencialmente por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, anfibólio e minerais opacos. As rochas graníticas estão associadas com a Suíte Intrusiva Itaporanga, ou Plúton Totoró, datado em 591 Ma (Archanjo *et al.* 2013).

São encontrados, ao longo dos corpos, diversos enclaves de rochas dioríticas, como também de granito com uma granulometria ainda mais grossa. Estes possuem bordas com concentração de minerais máficos. Diques de pegmatito em diferentes direções e dimensão também são presentes. São observadas, ainda, diversas estruturas de deformação frágil, como juntas e falhas, bem marcadas pelo deslocamento dos veios.

Pode-se considerar três destaques principais neste geossítio: (i) geomorfológico, (ii) paleontológico e (iii) antropológico. O primeiro refere-se às geofomas existentes, como a Pedra da Tartaruga; o segundo está associado com a remanescentes fossilíferos encontrados em sedimentos finos da lagoa, como a faixa-móvel da carapaça dorsal de um *Tolypeutes* mostrada na figura 48; por fim, o terceiro destaque são os registros rupestres deixados nas paredes graníticas do local.



Figura 48 – Fragmento fossilífero de carapaça dorsal de um *Tolypeutes* encontrado no Geossítio Lagoa do Santo. Foto: Marcos Nascimento.

Destaca-se ainda a Pedra do Sino, bloco de granito que, devido à sua posição de estabilidade com o bloco subjacente produz som de badaladas ao ser batido com outra rocha ou material metálico.

A figura 49 mostra algumas fotos do Geossítio Lagoa do Santo.

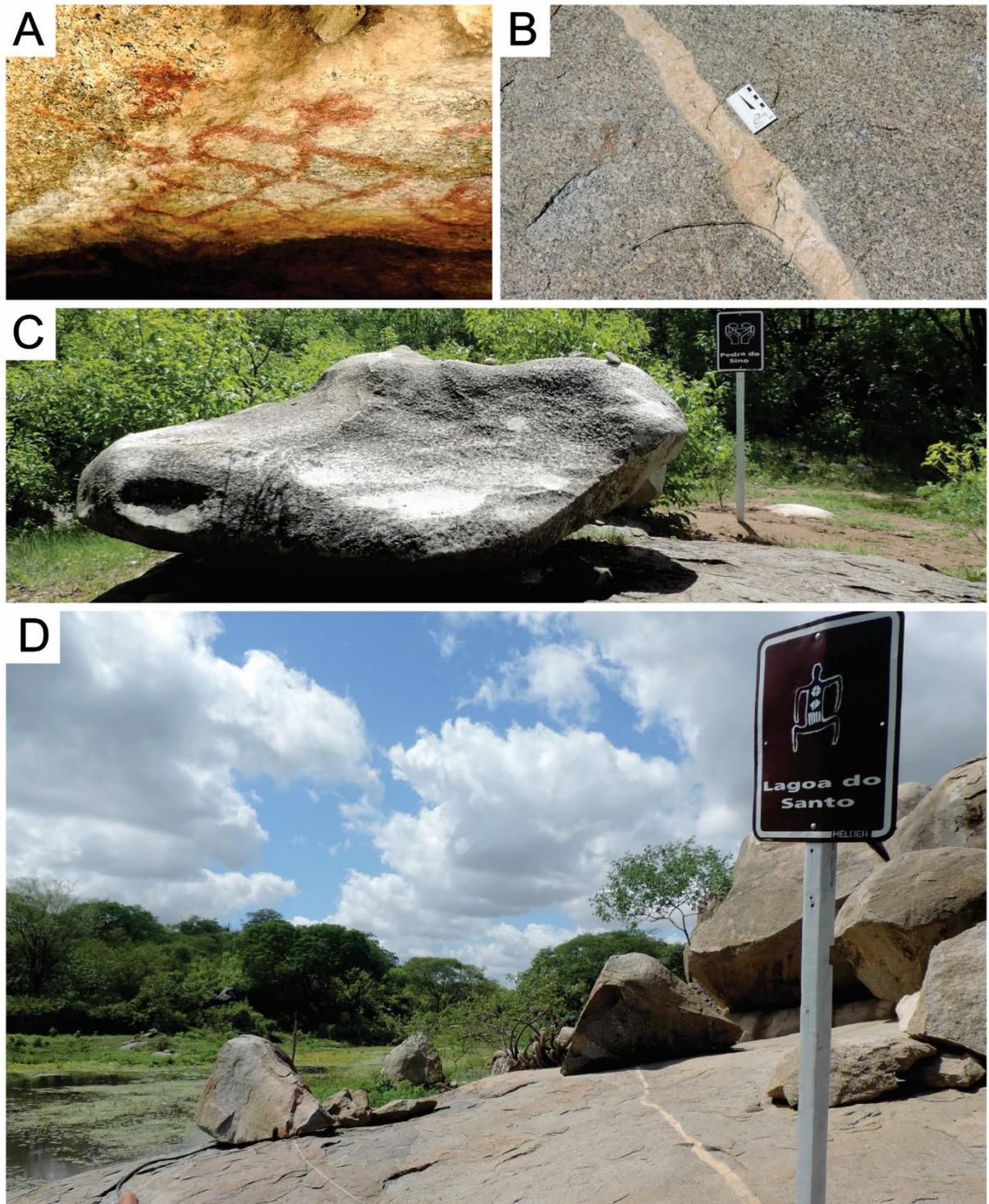


Figura 49 – Fotografias do Geossítio Lagoa do Santo: A) Registros rupestres encontrados no granito; B) Aspecto geral do granito porfirítico cortado por veio de pegmatito; C) Pedra do sino; D) Vista geral do geossítio. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.6 Pico do Totoró

Este geossítio está localizado a cerca de 10 km do centro da cidade de Currais Novos, sendo a maior parte do caminho feito por estradas de barro, não pavimentadas. Contudo, apresenta uma boa sinalização, recentemente implantada, que direciona ao geossítio.

Geologicamente, são encontrados granitos inequigranulares, com porções porfiríticas, compostos por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita, anfibólio, titanita, minerais opacos, allanita, epidoto, apatita e zircão. Como parte do Plúton Totoró, as rochas desse geossítios são datadas em 591 Ma (Archanjo *et al.* 2013). Em proporções menores, ocorrem dioritos e gabros, por vezes na forma de xenólitos (figura 50A).

Destacam-se, no geossítios, as geoformas Pedra do Navio (figura 50B) e Pedra do Caju (figura 50C). É local, portanto, de destaque geomorfológico.

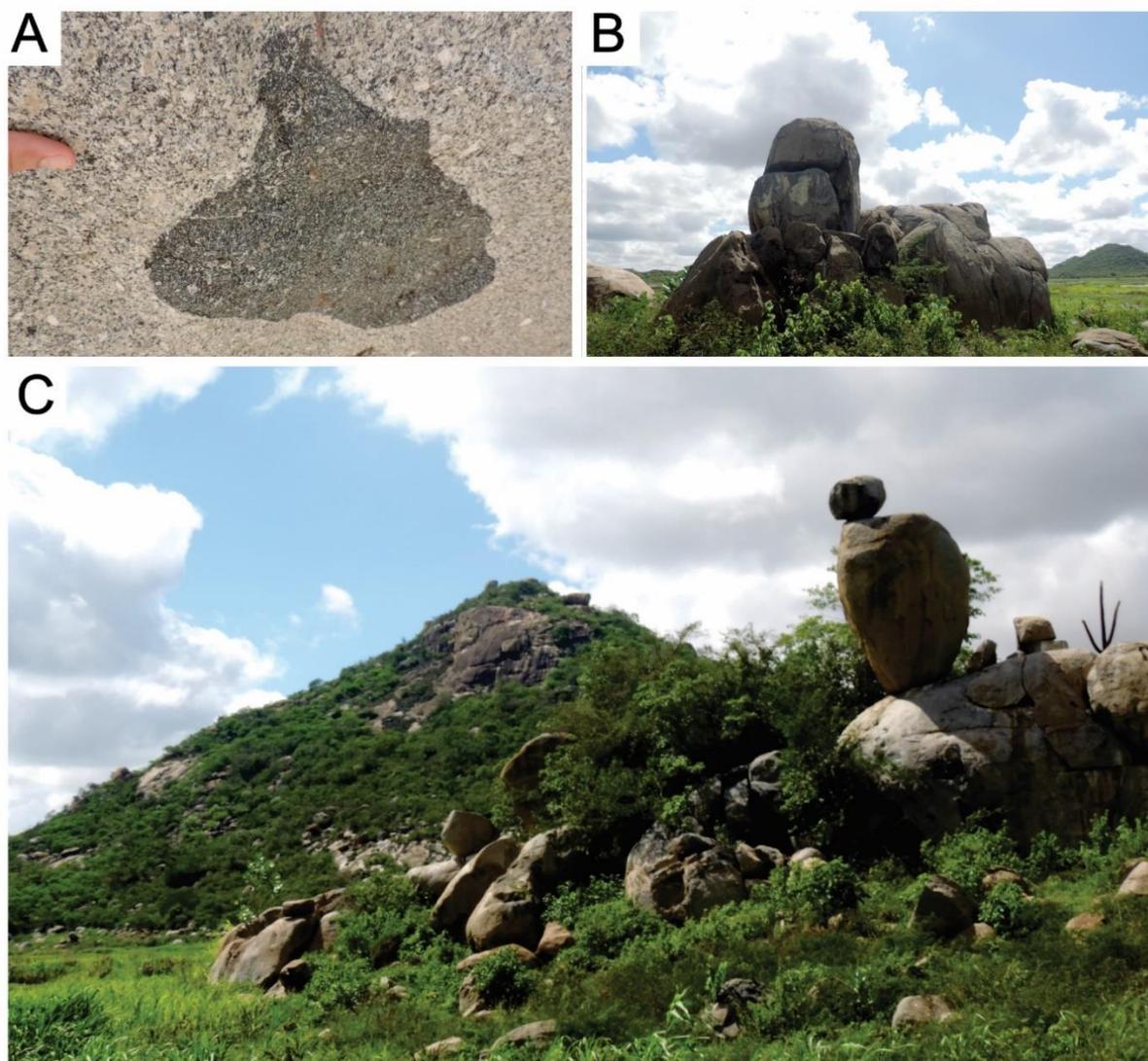


Figura 50 – Fotografias do Geossítio Pico do Totoró: A) Geoforma Pedra do Navio; B) Enclave diorítico no granito porfirítico encontrado no geossítio; C) Geoforma Pedra do Caju com o Pico do Totoró ao fundo. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.7 Morro do Cruzeiro

Localizado na área urbana da cidade de Currais Novos, este geossítio pode ser avistado de diversos locais do município por estar numa posição mais elevada do terreno.

Trata-se de pegmatito inequigranular, de granulometria grossa a porfirítica, composto essencialmente por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, além de biotita, muscovita e titanita. Encontra-se encaixado em um micaxisto, rico em biotita e granada, dobrado da Formação Seridó. A intrusão do corpo pegmatítico seguiu o plano axial das dobras, como pode-se observar na figura 51A, e ocorreu entre 515 e 510 Ma (Baumgartner *et al.* 2006).

Sobre o pegmatito foi posicionado um cruzeiro (figura 51B) e, por isso, o geossítio possui um significado cultural para a comunidade local, sendo local de peregrinações religiosas ao longo do ano. Devido à sua localização também propicia uma visão panorâmica para a cidade.

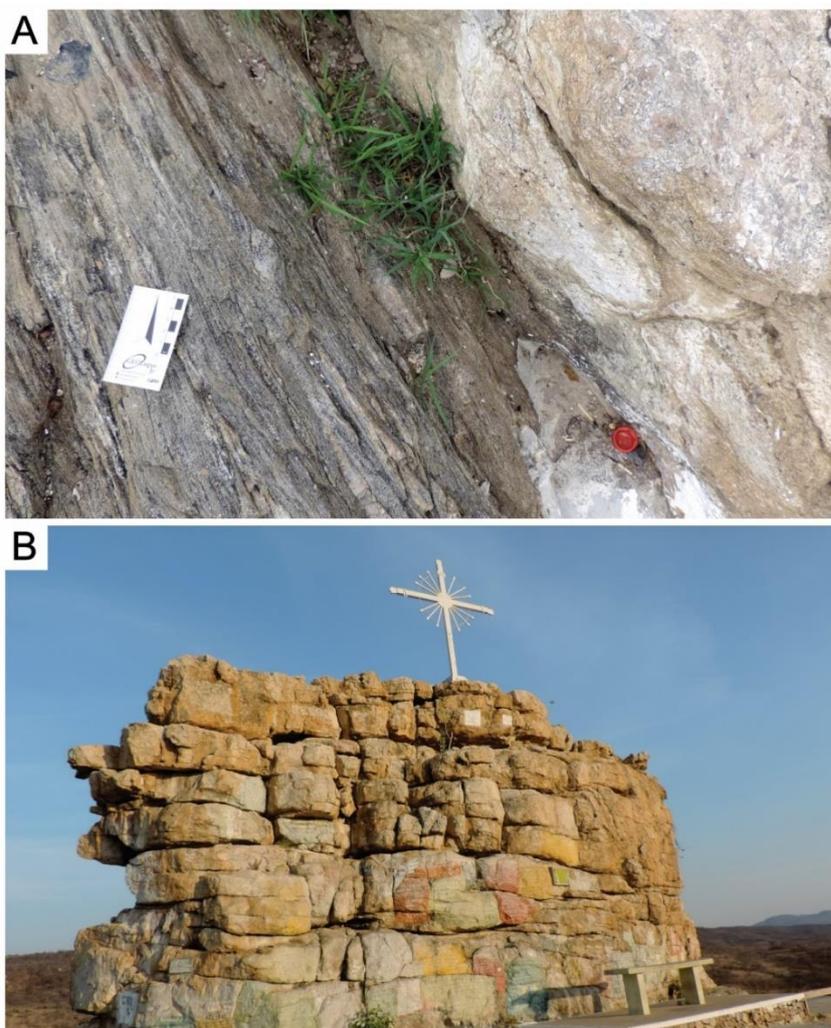


Figura 51 – Fotografias do Geossítio Morro do Cruzeiro: A) À esquerda, micaxisto da Formação Seridó no qual o pegmatito (à direita) é encaixado seguido a direção do plano axial das dobras; B) Vista geral do geossítio com o cruzeiro colocado em cima do corpo. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.8 Mina Brejuí

A Mina Brejuí, principal mina de scheelita da América do Sul, está localizada no entorno da cidade de Currais Novos e é um exemplo clássico do potencial mineral da região do Seridó potiguar, além de evidenciar a relação da atividade mineradora com a comunidade em que ela se insere.

A partir do centro da cidade, a entrada da mina encontra-se a cerca de 8 km através da BR-427, que liga Currais Novos com a cidade de Acari.

Geologicamente, o complexo da mina está correlacionado com a Formação Jucurutu, datado em 640 Ma (Van Schmus *et al.* 2003), apresentando uma alternância entre paragneisses, mármore e calcissilicáticas, facilitando a geração da mineração num processo relacionado com o modelo do Sanduíche de Gibbs, com fluidos hidrotermais disponibilizados pela intrusão do Granito de Acari.

Os paragneisses são constituídos essencialmente de quartzo, feldspato e biotita, esta marcando forte orientação, além de epidoto, microclina, muscovita, minerais opacos, tremolita/actinolita. As calcissilicáticas apresentam composição de epidoto, titanita, quartzo, plagioclásio, apatita, hornblenda, malaquita, molibdenita e tremolita/actinolita. As lentes de mármore são formadas por calcita, tendo como minerais acessórios: minerais opacos, tremolita e mica branca. Micaxistos da Formação Seridó também ocorrem na região.

A partir do estabelecimento da mineração na década de 1940, a cidade de Currais Novos apresentou grande desenvolvimento, o que possibilitou ao município a instalação de salas de cinema e até mesmo da primeira operadora de TV a cabo do Norte-Nordeste.

Com o declínio do preço da *commodity*, houve redução da produção e eventual fechamento ao longo da década de 1990, com retomada apenas no final da década seguinte. Apesar disto, foi estabelecido pela empresa um parque temático em 2000, englobando Museu Mineral, Memorial ao fundador da mina e visitação às galerias de exploração desativadas, o que se tornou o principal atrativo deste geossítios.

Pode-se destacar ainda as dunas de rejeito, a planta de beneficiamento e o patrimônio construído associado à mineração, como a vila dos trabalhadores, igreja e oficinas mecânicas, além dos equipamentos antigos, que contam a história da mineração currais-novense, como mostrado na figura 52.

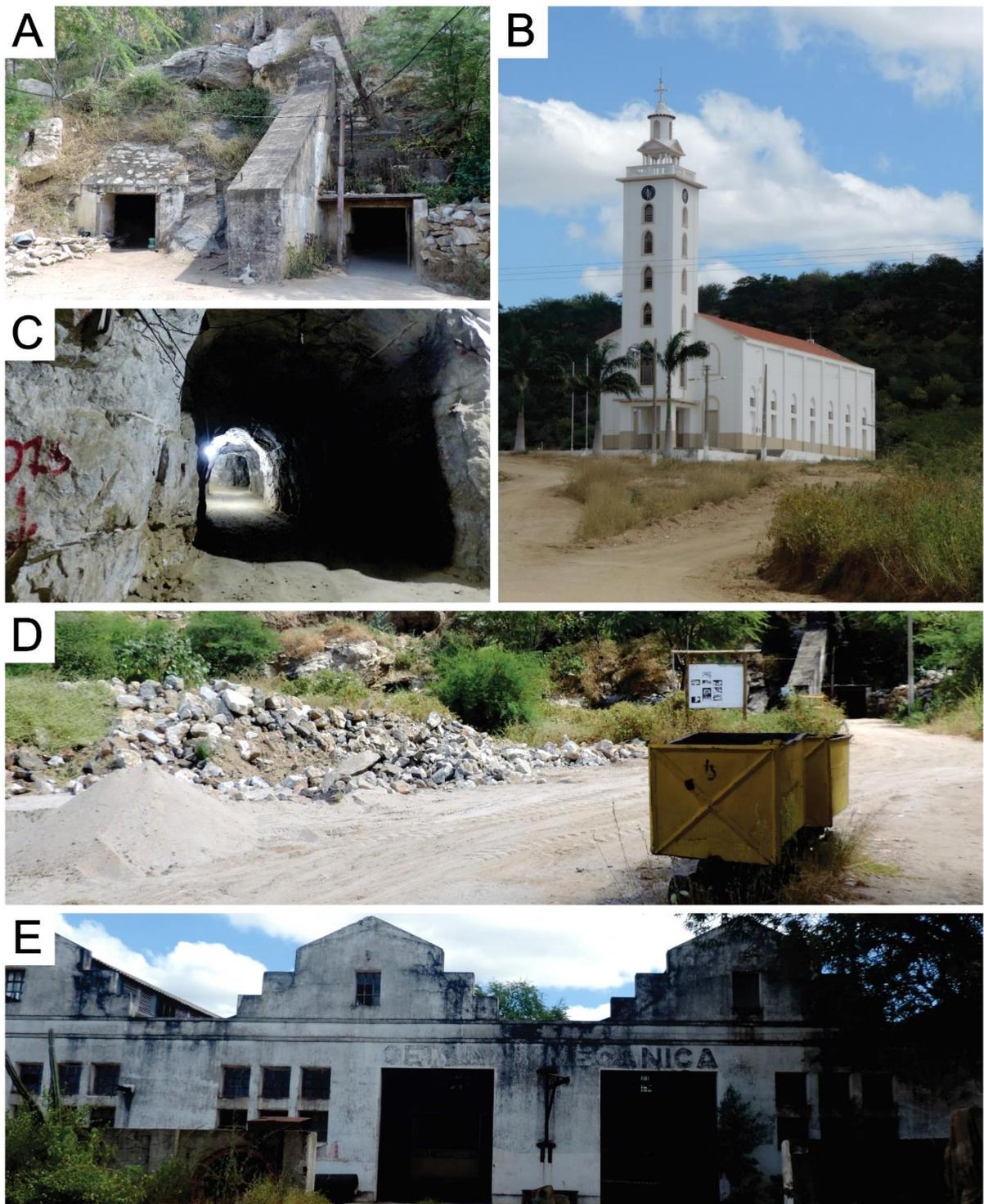


Figura 52 – Fotografias do Geossítio Mina Brejuí: A) Entrada de galeria destinada à visitação turística; B) Igreja da vila dos trabalhadores; C) Vista interna de galeria; D) Vagonetes na entrada de galeria; E) Complexo de oficinas da época do início de explora o.

Fotos: Matheus Lisboa.

identificar algumas geoformas, como a Cabeça do Índio. A figura 54 compila algumas fotos do geossítio.

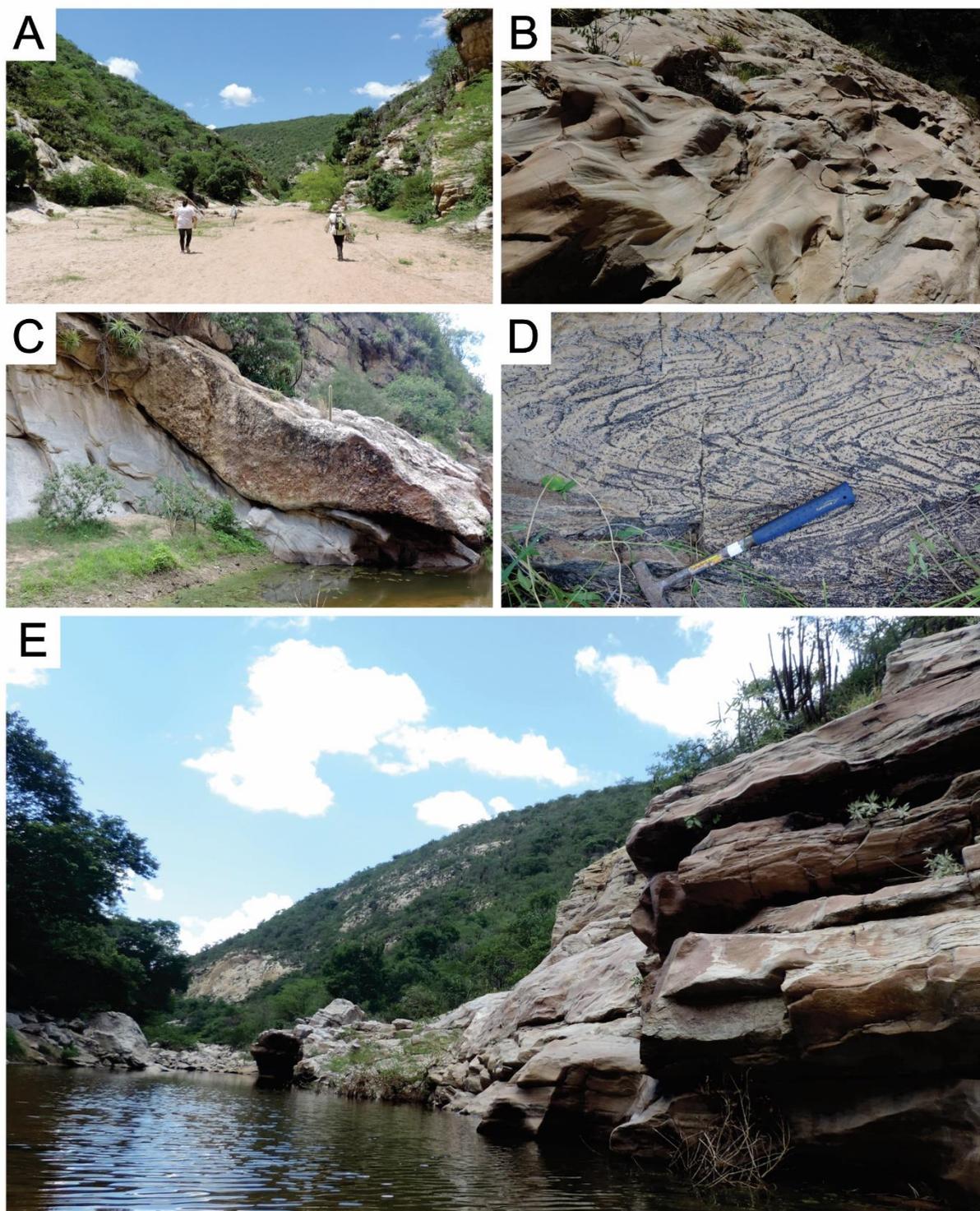


Figura 54 – Fotografias do Geossítio Cânions dos Apertados: A) Vista geral dos cânions e o leito do rio Picuí; B) Marmitas formadas pela erosão fluvial em corpo de quartzito; C) Corpo de pegmatito cortando quartzito; D) Estruturas de sedimentação do protólito preservadas e dobradas no quartzito; E) Vista das paredes de quartzito do cânion. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.10 Açude Gargalheiras

Localizado próximo à cidade de Acari, este geossítio compreende a área do entorno do Açude Gargalheiras, construído na década de 1940 com o aproveitamento das características geomorfológicas das serras do Minador e Pai Pedro, principalmente.

Geologicamente, são encontrados no local granitos inequigranulares e equigranulares de granulometria média. São compostos, essencialmente, por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, além de micas (biotita e muscovita), apatita, zircão, anfibólio, titanita, allanita e minerais opacos. São datados em 572 Ma (Archanjo *et al.* 2013).

O relevo das serras, cortado pelo Rio Acauã, forma o gargalo que foi aproveitado no barramento das águas fluviais para o abastecimento da região neste que é o principal açude do Seridó (figura 55).

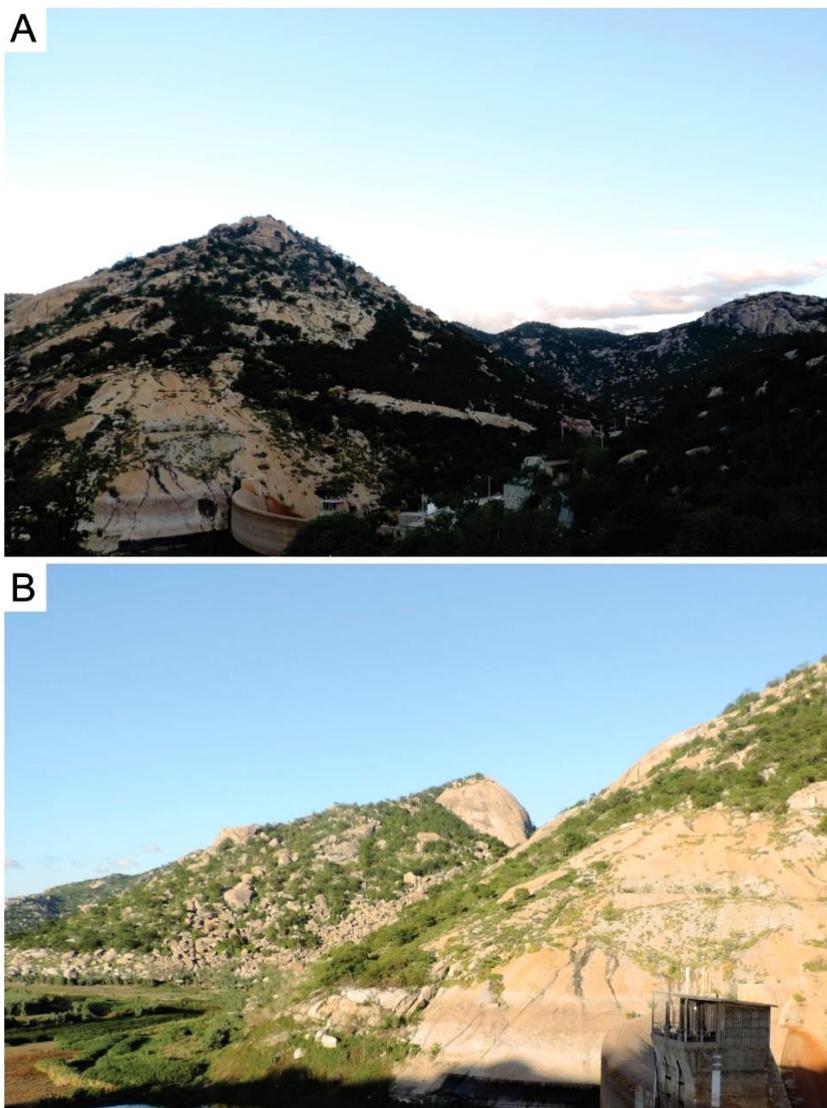


Figura 55 – Fotografias do Geossítio Açude Gargalheiras: A) Visão da Serra do Minador e a barragem do Açude Gargalheiras; B) Destaque para os morros de granito que compõem a paisagem local. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.11 Poço do Arroz

Localizado próximo ao centro urbano da cidade de Acari, é acessado por estrada de barro a partir de rodovia asfaltada que liga o município ao Açude Gargalheiras.

No geossítio ocorrem blocos de granito inequigranulares, de granulometria média a grossa, compostos essencialmente por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, além de biotita, anfibólio, titanita, zircão, apatita e minerais opacos. Está associado com o contexto do Granito de Acari, datado em 572 Ma (Archanjo *et al.* 2013).

Ainda são encontrados na área diques de pegmatito cortando a litologia principal (figura 56), estes são compostos por K-feldspato, quartzo, biotita e turmalina.



Figura 56 – Dique de pegmatito com granulometria grossa cortando o granito no Geossítio Poço do Arroz. Foto: Matheus Lisboa.

São elementos que compõem o geossítio as marmitas formadas por erosão fluvial, cuja força da intempérie foi dada pelo movimento do Rio Acauã, facilitada por conjuntos de estruturas de deformação frágil.

A existência das marmitas foi facilitadora para que povos pré-históricos as utilizassem para fazer registros sob a forma de litogravuras, que se transformaram em um dos principais atrativos deste local. São diversas as formas e temas dos registros.

Outro destaque do local é a sua beleza cênica, formada pelos processos erosivos e tectônicos na região. A figura 57 mostra algumas fotos do Geossítio Poço do Arroz, seus atrativos e do entorno.



Figura 57 – Fotografias do Geossítio Poço do Arroz: A) Vista geral do geossítio; B) e C) Exemplos de litogravuras encontrados no local; D) Local conhecido com Biblioteca, que apesar de não estar localizado no ponto principal do geossítio, faz parte do entorno. Neste lugar, os “livros” são um complexo de falhas escalonadas, tipo dominó, no granito. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.12 Cruzeiro de Acari

Localizado no centro da cidade de Acari, este é um dos geossítios de menor extensão areal do Geoparque, mas representa um registro científico de importância, sendo utilizado como exemplo em aulas de campo dos cursos de geociências e áreas correlatas de diversas instituições nordestinas.

É formado por blocos de granitos inequigranulares, de granulometria média a grossa, essencialmente composto por cristais de K-feldspato (de dimensões centimétricas – figura 58A), quartzo, plagioclásio, além de biotita, anfíbólio, titanita, zircão, apatita e minerais opacos. A orientação dos cristais é evidência de fluxo magmático. Em alguns blocos é possível verificar textura semelhante à rapakivi nos cristais de feldspato (figura 58B).

Regionalmente, o geossítio está inserido no contexto de uma fase porfírica do Granito de Acari, datada em 577 Ma (Archanjo *et al.* 2013).

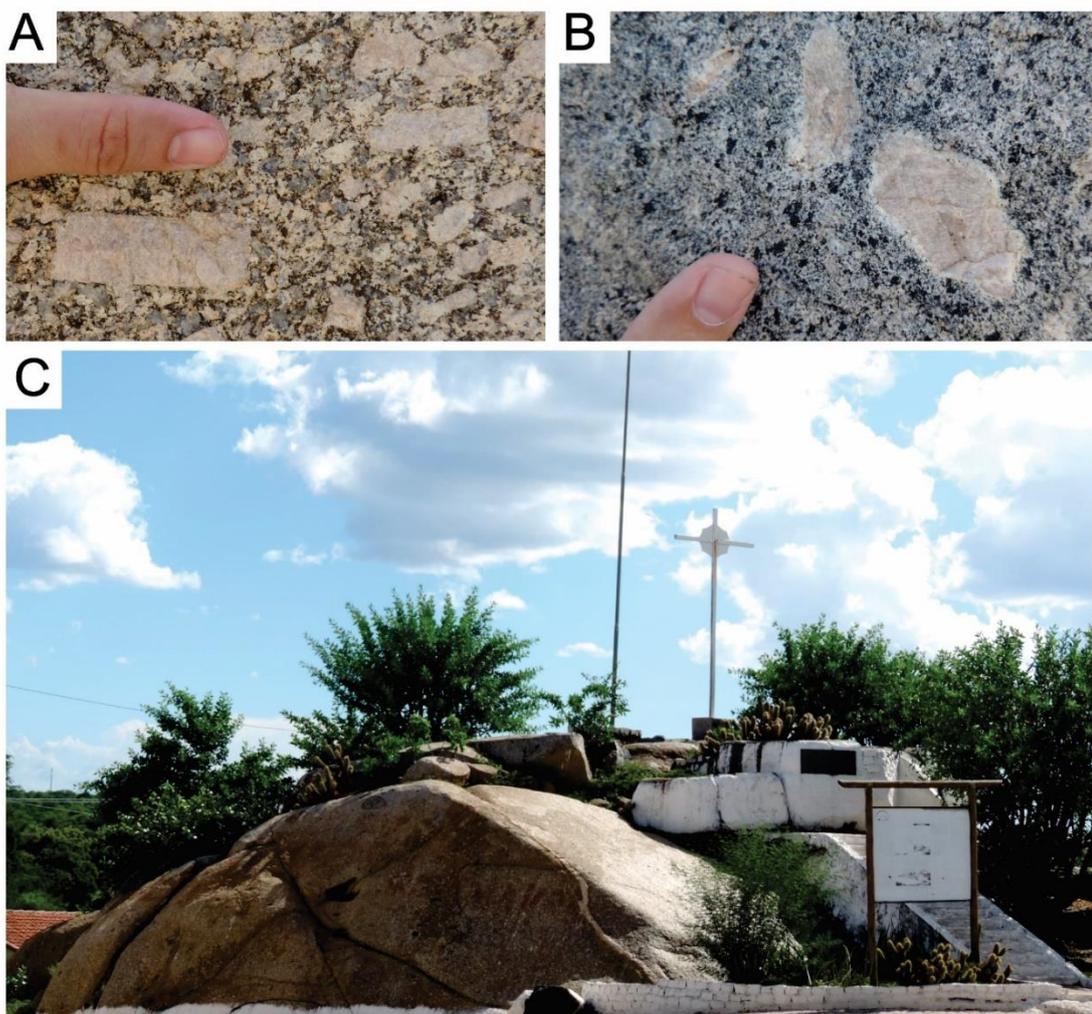


Figura 58 – Fotografias do Geossítio Cruzeiro de Acari: A) Fenocristais de feldspato potássico denotando também um fluxo magmático pelo seu alinhamento; B) Evidência de textura tipo rapakivi; C) Vista geral do geossítio com o cruzeiro posto sobre o corpo granítico. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.13 Marmitas do Rio Carnaúba

Este geossítio está localizado ao longo do leito do rio Carnaúba, distante 8,5 km, em linha reta SW, do centro da cidade de Acari. O acesso ao local é feito por estradas largas de barro.

É formado por granitos inequigranulares de granulometria média a grossa, essencialmente compostos por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, além de biotita, anfibólio, titanita, zircão, apatita e minerais opacos. A rocha está associada com a Suíte Intrusiva Itaporanga (Granito Acari), datada em 572 Ma (Archanjo *et al.* 2013).

Cortando a rocha, existem diversos diques graníticos, de granulometria mais fina que o corpo granítico principal, e diques de pegmatito, estes compostos por K-feldspato, quartzo, minerais opacos, turmalina e berilo.

São comuns no geossítio a ocorrência de estruturas frágeis de deformação, como fraturas e falhas.

O principal destaque do local são as marmitas, de dimensões variadas, chegando a níveis métricos, num conjunto que se estende, principalmente, em um trecho de 800 m ao longo do leito do rio.

A formação dessa feição pela erosão fluvial foi essencial para a inscrição na rocha de litogravuras por povos antigos, com diversas formas geométricas, de forma semelhante ao que foi feito no Geossítio Poço do Arroz.

A figura 59 mostra um compilado de fotos do Geossítio Marmitas do Rio Carnaúba.

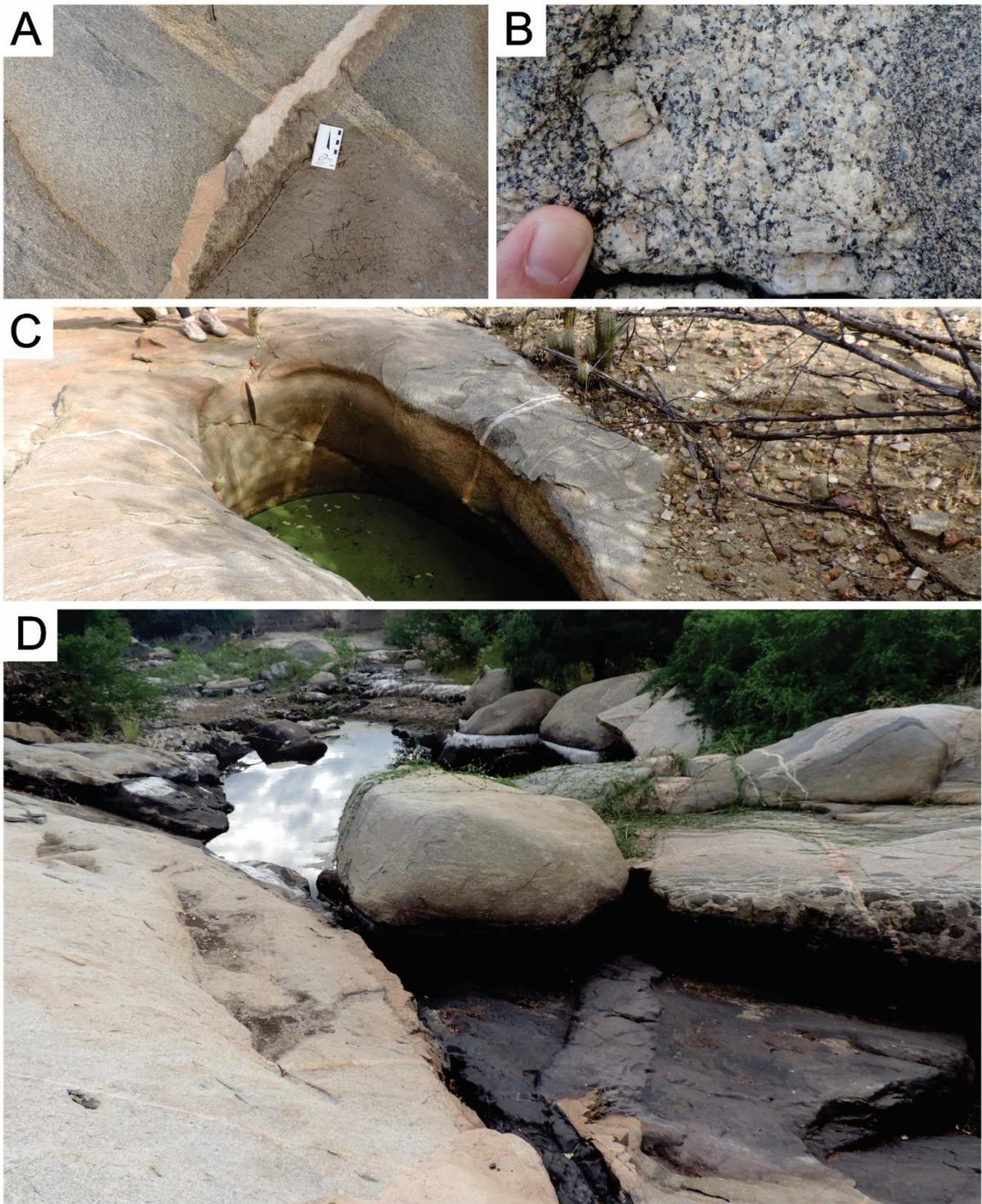


Figura 59 – Fotografias do Geossítio Marmitas do Rio Carnaúba: A) Veios de pegmatito cortando o granito; B) Destaque para fenocristais de feldspato potássico; C) Marmita no granito; D) Vista de parte do geossítio. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.14 Xiquexique

Este geossítio está localizado próxima à cidade de Carnaúba dos Dantas, com acesso distante 4 km do centro da cidade ao longo da RN-089.

A litologia predominante no local é o quartzito da Formação Equador (Grupo Seridó), composto essencialmente por quartzo. Ocorrem também alguns cristais de muscovita, biotita e opacos, a rocha possui uma textura lepidogranoblástica.

Estruturalmente, o afloramento apresenta estruturas de tectônica frágil, mas são mais evidentes estruturas dúcteis como dobras recumbentes.

Não existe na literatura uma datação confiável para a Formação Equador, mas como a Formação Jucurutu (base do Grupo Seridó) está datada em 640 Ma, pode-se afirmar que esta é uma idade limite para os quartzitos.

O principal destaque são os registros rupestres, desenhados nas paredes de quartzito e que trazem três temáticas principais, caça, dança e sexo, e que inspiram a criação de geoprodutos como o mostrado na figura 60. O local atualmente possui condições de visitação bem estruturada, com equipamentos de apoio ao longo do caminho de aproximadamente 1 km que leva ao geossítio, o que possibilita a visita de estudantes de nível básico de ensino, por exemplo.



Figura 60 – Geoprodutos feitos pelo artesão carnaubense José Evangelista com o uso de rejeito de mineração local e inspirado nos registros rupestres do Geossítio Xiquexique.

Foto: Matheus Lisboa

A figura 61 mostra algumas fotos do Geossítio Xiquexique.

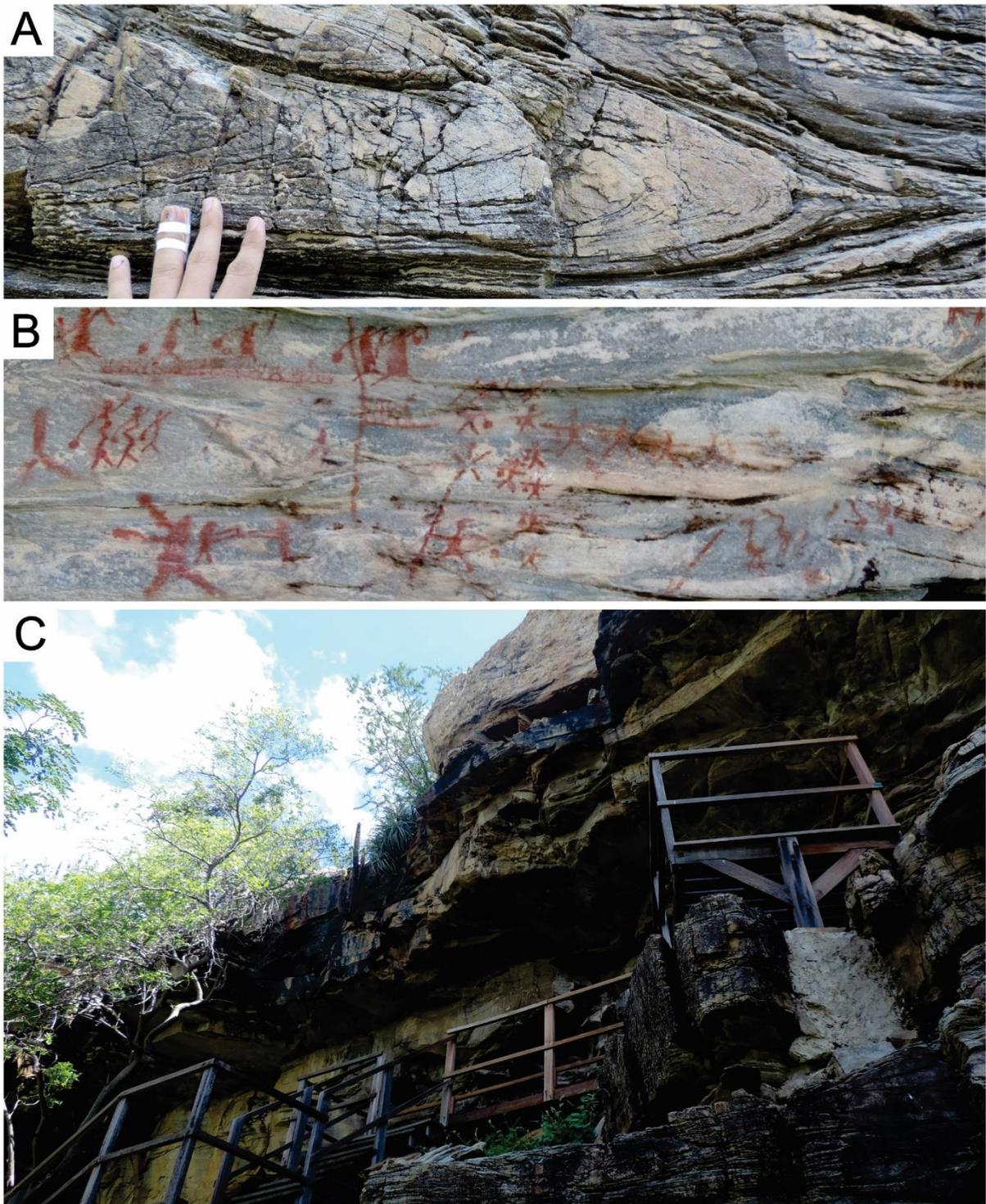


Figura 61 – Fotografias do Geossítio Xiquexique: A) Destaque para dobra recumbente no quartzito; B) Registros rupestres com diversos temas encontrados no local; C) Destaque para a estrutura de visitação atualmente existente. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.15 Monte do Galo

Localizado na área urbana da cidade de Carnaúba dos Dantas, destaca-se no relevo local, podendo ser avistado à distância, com altura de 150 m, em média.

Trata-se de um corpo de pegmatito, de direção NE-SW, formado essencialmente por quartzo, feldspato, plagioclásio, biotita, muscovita e turmalina. Está inserido no contexto dos corpos pegmatíticos da Borborema, datados em 520 Ma (Baumgartner *et al.* 2006).

Sobre o corpo existe um monumento religioso de tradição católica, dedicado à Nossa Senhora das Vitórias, local de peregrinação e mirante para toda a região do sul do Seridó potiguar, como pode-se ver na figura 62.

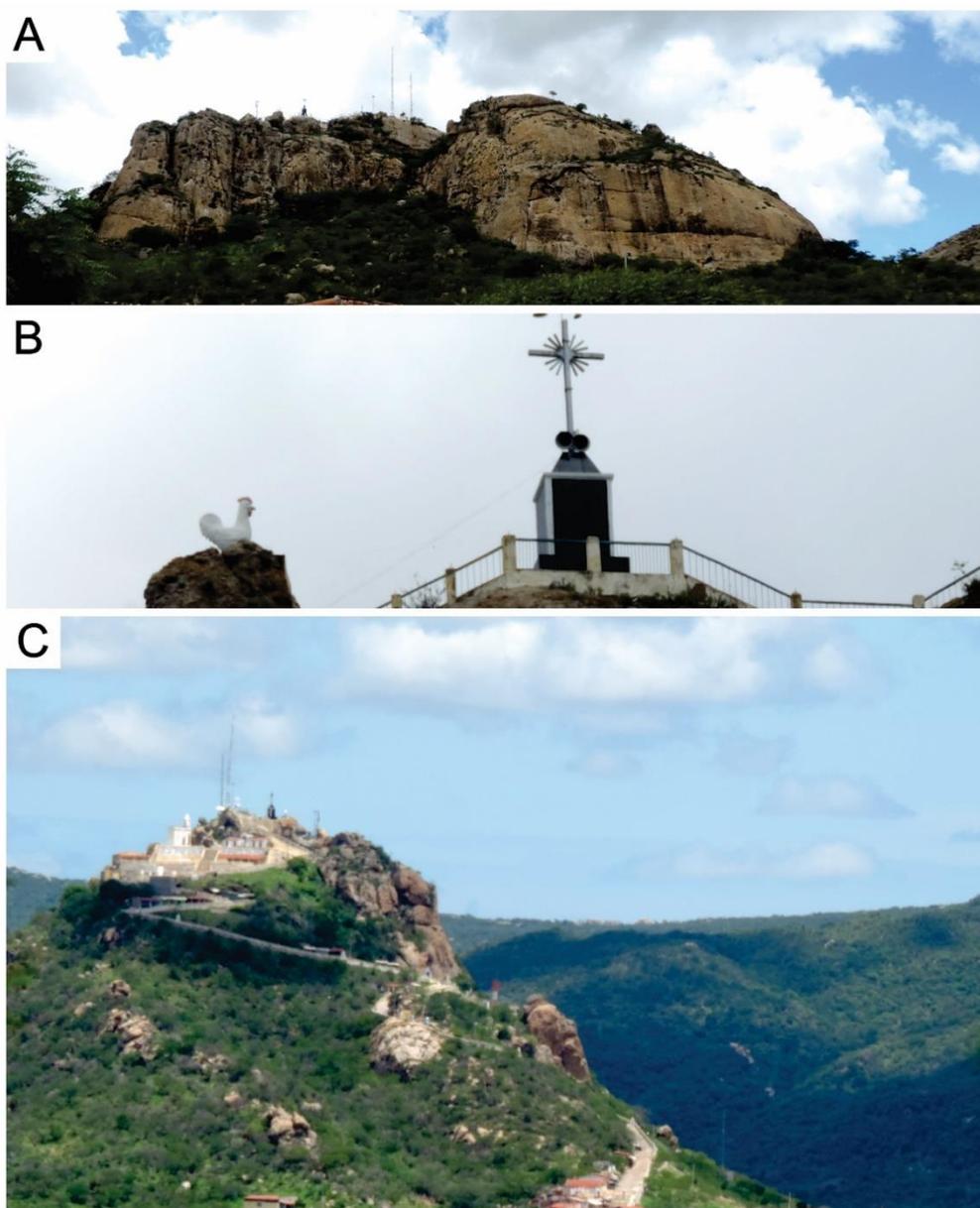


Figura 62 – Fotografias do Geossítio Monte do Galo: A) Vista próxima do corpo de pegmatito; B) Destaque para o galo e o cruzeiro postos no topo do geossítio; C) Vista geral do geossítio.
Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.16 Açude Boqueirão

Localizado no entorno da cidade de Parelhas, município no limite sul do Geoparque Seridó, este geossítio possui uma geodiversidade composta por litologias como metaconglomerado e quartzito e tem diversos destaques geomorfológicos em suas características.

Os metaconglomerados, compreendidos pela Formação Equador, são compostos por seixos de gnaisses, xistos e quartzitos em uma matriz, de granulometria média, formada por plagioclásio, quartzo, microclina, biotita, clorita, titanita e opacos. Os quartzitos, da mesma Formação, são compostos por quartzo, sendo acessórios: muscovita, epídoto e minerais opacos.

Ao longo do geossítio também são encontrados diques de pegmatito. Todas as rochas existentes na região são alvo de extração mineral com diversas aplicações, sendo destaque a exploração ornamental.

É evidente na área a existência de um relevo positivo, conhecido como Serra das Queimadas, com orientação N-S. A ação de erosão fluvial cortou a serra formando uma garganta, ou boqueirão. A forma atual do relevo é interpretada, na cultura local, como a silhueta de uma mulher dormindo, conhecida como Princesa Adormecida (figura 63), símbolo da cidade.



Figura 63 – Perspectiva da Serra das Queimadas com a silhueta da princesa adormecida.
Foto: Zuleide Lima.

A figura 64 mostra algumas fotos do Geossítio Açude Boqueirão, com destaque para os blocos de metaconglomerado encontrados no entorno.



Figura 64 – Fotografias do Geossítio Açude Boqueirão: A) Detalhe de bloco de metaconglomerado encontrado no local; B) Vista para o açude a partir da Serra das Queimadas. Fotos: Matheus Lisboa.

5.1.17 Mirador

Geossítio também localizado nas proximidades do Açude Boqueirão, em Parelhas, onde ocorrem metaconglomerados carbonáticos e quartzitos da Formação Equador.

É possível observar, no local, a intensa ação de intempéries que produzem dissolução da rocha. Este processo é responsável também pela forma do local, conhecido como Pedra da Boca.

Atualmente, possui estrutura de visitação semelhante ao do Geossítio Xiquexique, ainda que em condições mais simplórias, o que facilita a observação de registros rupestres desenhados nas paredes de metaconglomerado do local, como mostra a figura 65. Também neste geossítio foram encontradas câmaras mortuárias destas comunidades antigas (Nascimento & Ferreira 2012).

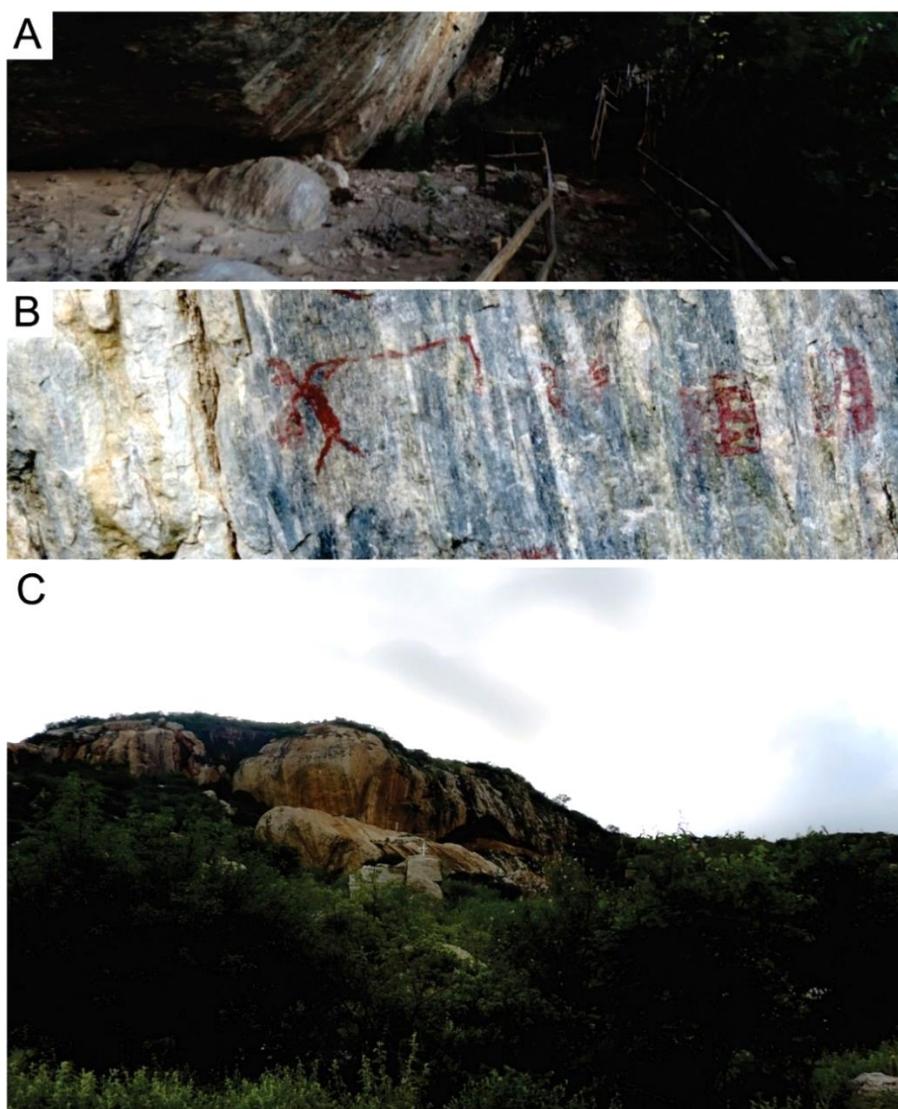


Figura 65 – Fotografias do Geossítio Mirador: A) Estrutura de visitação atualmente existente com passarelas de madeira; B) Registros rupestres no metaconglomerado; C) Vista geral do geossítio.
Fotos: Matheus Lisboa.

5.2 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO GEOPARQUE SERIDÓ

A definição de valores qualitativos para a geodiversidade faz-se a partir da interpretação da interação dos elementos abióticos da natureza com os processos naturais, a biodiversidade e as comunidades envolvidas no entorno.

Tem a finalidade de demonstrar a importância da diversidade abiótica no estabelecimento e conservação do equilíbrio ambiental, assim como o desenvolvimento das sociedades humanas.

Neste sentido, este trabalho faz a avaliação dos geossítios do Geoparque Seridó sob a ótica dos Serviços Ecosistêmicos da Natureza, que refletem os benefícios que a existência da geodiversidade disponibiliza para o ecossistema e para o ser humano.

Todos os geossítios possuem, somente por sua existência, um valor intrínseco que, independe da possibilidade de seu uso pela natureza ou pelo ser humano. Assim, segundo o método de Gray (2013), este valor pode ser atribuído a todos os locais de interesse geológico da área estudada.

Além do valor intrínseco, foram identificados os bens e processos associados aos serviços ecosistêmicos da geodiversidade no Geoparque Seridó, como é descrito a seguir.

5.2.1 Serviço de Regulação

- Processos Terrestres

São identificados nos geossítios Serra Verde, Lagoa do Santo e Pico do Totoró por ações intempéricas, responsáveis pela definição de geoformas encontradas nestes lugares, tais como: Cabeça do Cachorro/Dinossauro, Pedra do Nariz, Pedra da Baleia, Pedra da Tartaruga e Pedra do Caju.

Nos geossítios Cânions dos Apertados (figura 66), Poço do Arroz e Marmitas do Rio Carnaúba este processo é identificado pelo modelamento da geomorfologia local por meio da erosão fluvial, que gerou, nestes locais, feições como cânions e marmitas.

- Qualidade da Água

Os sedimentos da Serra de Santana são responsáveis pela filtragem de águas pluviais percoladas na região, assim, este processo pode ser identificado nos geossítios Vale Vulcânico e Tanque dos Poscianos.

Como condicionantes e controladores também das condições de equilíbrio de águas superficiais, pode-se identificar tal serviço também nos geossítios Lagoa do Santo, Cânions dos Apertados, Poço do Arroz, Marmitas do Rio Carnaúba, Açude Gargalheiras e Açude Boqueirão.



Figura 66 – Os processos erosivos fluviais foram os responsáveis por modelar os cânions e marmitas encontrados no Geossítio Cânions dos Apertados, exemplo de um serviço de regulação da geodiversidade. Foto: Matheus Lisboa.

5.2.2 Serviço de Suporte

- Processos do Solo

Ao ser relacionado com a disponibilização de recursos pelo solo para o estabelecimento e desenvolvimento de espécies vegetais, assim como de microrganismos, e funcionando como reservatórios de água e carbono e agente reciclador da matéria orgânica, este processo pode, no Geoparque Seridó, ser claramente identificado no geossítio Vale Vulcânico.

- Provisão de Habitat

A geodiversidade disponibiliza elementos de habitat para a biodiversidade nos geossítios Serra Verde (figura 67A), Lagoa do Santo, Marmitas do Rio Carnaúba, Xiquexique e Mirador pois nestes locais os registros rupestres indicam que comunidades pré-históricas utilizaram os blocos de rocha como moradia ou mesmo elementos de proteção dos predadores.

Nos geossítios Serra Verde, Lagoa do Santo, Pico do Totoró e Cânions dos Apertados também foram identificados a presença de espécies vegetais e animais que utilizam a geodiversidade para seu estabelecimento, como morcegos em grutas e abrigos e espécies de répteis nas águas represadas nas rochas.

- Plataforma

O ser humano, na região do Geoparque, utilizou a geodiversidade como alicerce e base para a construção de monumentos e edificações, sobretudo com função religiosa, como se

observa nos geossítios Cruzeiro de Cerro Corá, Morro do Cruzeiro, Cruzeiro de Acari e Monte do Galo.

Este serviço também pode ser identificado nos geossítios Pico do Totoró, Açude Gargalheiras (figura 67B) e Açude Boqueirão uma vez que o modelamento geomorfológico dos locais possibilitou a construção de barragens para o acúmulo de água para abastecimento dos municípios desta área do Seridó potiguar.

A Mina Brejuí também só pôde ser estabelecida na região do Geoparque Seridó pela existência de geodiversidade única com rica mineralização em volframato de tungstênio, assim os elementos de natureza abiótica no local funcionam como plataforma para a atividade mineradora.

- Sepultamento e Armazenamento

No Geossítio Mirador, o uso do local para deposição de câmaras mortuárias define este tipo de processo relacionado ao serviço de suporte.

O armazenamento natural ou artificial de água nos geossítios Serra Verde, Tanque dos Poscianos, Lagoa do Santo, Pico do Totoró, Açude Gargalheiras, Poço do Arroz, Marmitas do Rio Carnaúba e Açude Boqueirão também permite relacionar à geodiversidade destes locais este processo.

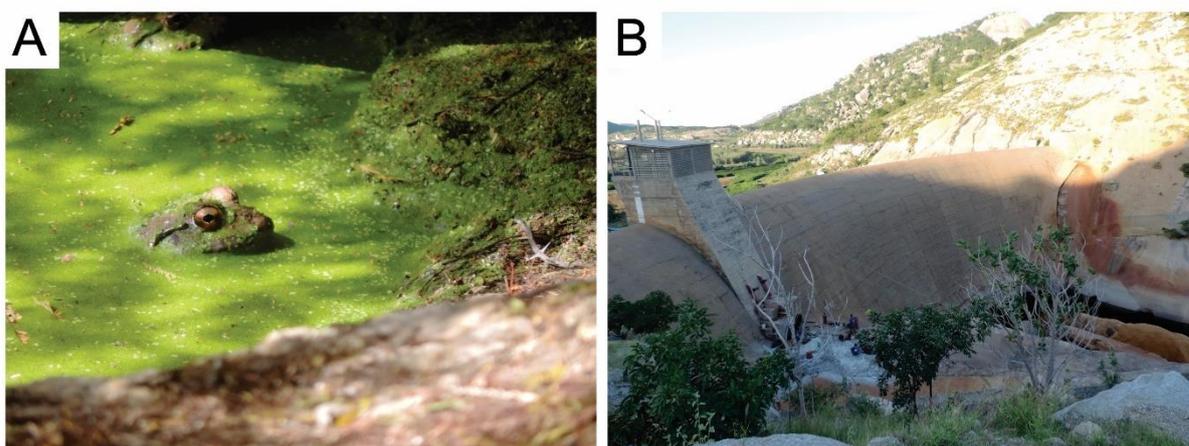


Figura 67 – Exemplos de serviço de suporte da geodiversidade: A) sapo encontrado em tanque no Geossítio Serra Verde; B) a barragem no Geossítio Açude Gargalheiras foi construída aproveitando-se da geodiversidade local. Fotos: Matheus Lisboa.

5.2.3 Serviço de Provisão

- Comida e Bebida

Também pode, no Geoparque Seridó, ser relacionado com a disponibilização de água para consumo humano ou animal, como verificado nos geossítios Serra Verde, Tanque dos Poscianos (figura 68A), Lagoa do Santo, Pico do Totoró, Açude Gargalheiras, Poço do Arroz, Marmitas do Rio Carnaúba e Açude Boqueirão.

- Materiais para Construção

É identificado pela exploração de elementos da geodiversidade para uso como material de construção, a exemplo de blocos de alicerces, colunas, paredes ou ainda como acabamento. Por isso, pode ser observado nos geossítios Açude Gargalheiras, Poço do Arroz (figura 68B) e Açude Boqueirão, onde ocorrem extração de blocos de granito e metaconglomerado, respectivamente.

- Minerais Industriais e Metálicos

A mineração de scheelita no Geossítio Mina Brejuí é o único exemplo no âmbito do Geoparque Seridó que permite a identificação deste processo associado ao serviço de provisão.

- Gemas

Ainda que mais associados aos elementos valorizados pela beleza, raridade e valor monetário, este bem do serviço de provisão pode ser associado ao uso de elementos da geodiversidade como produtos ornamentais, a exemplo do que se verifica, na área de estudo, dos blocos soltos de quartzito nas proximidades do Geossítio Xiquexique, utilizados por artesãos de Carnaúba dos Dantas na criação de geoprodutos, assim como também ocorro no Geossítio Açude Boqueirão.

- Fósseis

No Geoparque Seridó, existem registros de tanques fossilíferos e vestígios de fósseis nos geossítios Serra Verde e Lagoa do Santo, o que permite a identificação de serviço de provisão nestes locais.

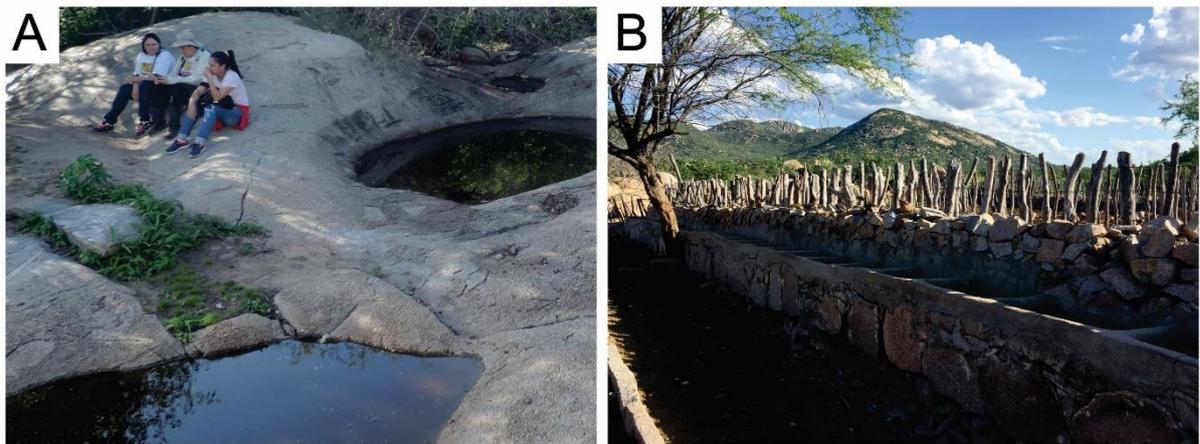


Figura 68 – O acúmulo de água no Geossítio Tanque dos Poscianos (A) e o uso de blocos de granitos para a construção de muros na área do Geossítio Poço do Arroz (B) são exemplos do serviço de provisão da geodiversidade. Fotos: A) Matheus Lisboa; B) Kátia Mansur.

5.2.4 Serviço Cultural

- Qualidade Ambiental

Associado com o aspecto estético e paisagístico da geodiversidade de um lugar, este tipo de serviço cultural pode ser identificado, no Geoparque Seridó, nos geossítios Serra Verde, Pico do Totoró, Cânions dos Apertados, Açude Gargalheiras, Marmitas do Rio Carnaúba, Xiquexique e Açude Boqueirão, pela beleza constituída pelos elementos da natureza abiótica nestes locais.

Os geossítios Cruzeiro de Cerro Corá, Tanque dos Poscianos, Morro do Cruzeiro, Monte do Galo e Mirador também funcionam como mirantes para apreciação das paisagens locais, por isso também definem este tipo de serviço.

- Geoturismo e Atividades de Lazer

A prática de atividades de lazer, do tipo aventura, como trilhas, escalada, rapel, ou outros, é praticada, no âmbito do Geoparque, nos geossítios Vale Vulcânico, Tanque dos Poscianos, Pico do Totoró, Xiquexique, Açude Boqueirão e Mirador, o que define este tipo de processo cultural na área de estudo.

- Significado Cultural, Histórico e Espiritual

A relação da geodiversidade com a cultura local, seja por fatores históricos, espirituais, religiosos ou outros, é possível de ser observado nos geossítios Serra Verde, Cruzeiro de Cerro Corá, Lagoa do Santo, Morro do Cruzeiro, Poço do Arroz, Cruzeiro de Acari, Marmitas do Rio Carnaúba, Xiquexique, Monte do Galo e Mirador. Nestes lugares, onde, em alguns, existem

registros de uma cultura passada, de comunidades pré-históricas, também ocorre, atualmente, a dedicação às entidades cristãs, são lugares de peregrinações e cultos religiosos.

Lendas e histórias locais estão, por vezes, associados às paisagens em que as comunidades estão inseridas, por isso fazem parte também da cultura, a exemplo do Geossítio Açude Boqueirão, cujo contorno da Serra das Queimadas possibilitou a criação da história da Princesa Adormecida.

No Geossítio Mina Brejuí, pode-se encontrar vestígios da história da cidade de Currais Novos, que se confunde com a história da própria mineração, fator de impulsão para o desenvolvimento municipal a partir da década de 1940. Assim, a geodiversidade neste local também possui um valor cultural associado. Isto também é evidenciado pela relação da cidade com a mineração (figura 69A).

- Inspiração Artística

Alguns dos geossítios, por estarem atrelados ao cotidiano das comunidades locais do Seridó, acabam por servir de inspiração para a produção de material artístico, como músicas, poesias, quadros ou outros. São exemplos disto os geossítios Pico do Totoró (figura 69B), Morro do Cruzeiro e Cânions dos Apertados, no município de Currais Novos, em que algumas das expressões do ambiente físico estão presentes até mesmo no hino da cidade.

Também pode-se identificar este tipo de serviço cultural nos geossítios Açude Gargalheiras, Xiquexique, Monte do Galo e Mirador, locais em que o desenvolvimento de artes fotográficas é bastante proeminente.

- Desenvolvimento Social

Atualmente, o desenvolvimento de ações voluntárias de proteção do meio físico são observadas, no contexto do Geoparque Seridó, apenas nos geossítios Serra Verde, em que, recentemente, alunos de escola da cidade do Natal fizeram a colocação de placas de identificação dos lugares; Vale Vulcânico, Cânions dos Apertados e Xiquexique, em que trabalha-se com a visitação ambientalmente consciente, observada a partir de placas e condutas das comunidades locais.



Figura 69 – A) Monumento aos mineradores na entrada da cidade de Currais Novos, que mostra a importância da Mineração, sobretudo do Geossítio Mina Brejuí, na história do município. Foto: Matheus Lisboa; B) Pintura a óleo do artista Adriano Santori retratando o Geossítio Pico do Totoró. Fonte: <https://adrianosantori.wordpress.com/galeria/picodototoro/>. Acesso em 30 de julho de 2018.

5.2.5 Serviço de Conhecimento

- História da Terra

São geossítios do Geoparque Seridó aqueles que possuem evidências importantes sobre a evolução do planeta, com diversos trabalhos científicos publicados e notável uso por profissionais das geociências: Vale Vulcânico (figura 70A), Pico do Totoró, Morro do Cruzeiro, Mina Brejuí, Cânions dos Apertados, Açude Gargalheiras e Cruzeiro de Acari.

- História da Pesquisa

Estão relacionados com a pesquisa em ciências da Terra, sendo lugares de importância na definição de parâmetros ou simplesmente pelo fato de conterem informações relevantes para as geociências os geossítios: Vale Vulcânico, Pico do Totoró, Mina Brejuí, Açude Gargalheiras, Cruzeiro de Acari e Açude Boqueirão.

- Educação e Emprego

Todos os geossítios do Geoparque Seridó possuem potencial educativo, logo, podem ser utilizados para a educação em geociências, ou em ciências ambientais e ecológicas, além de fornecerem informações suficientes para serem utilizados na capacitação de profissionais especializados em geologia, geografia, turismo, biologia, ecologia, entre outras áreas.

A figura 70B mostra um exemplo de uso da geodiversidade como forma de geração de emprego através do guiamento no Geossítio Xiquexique.

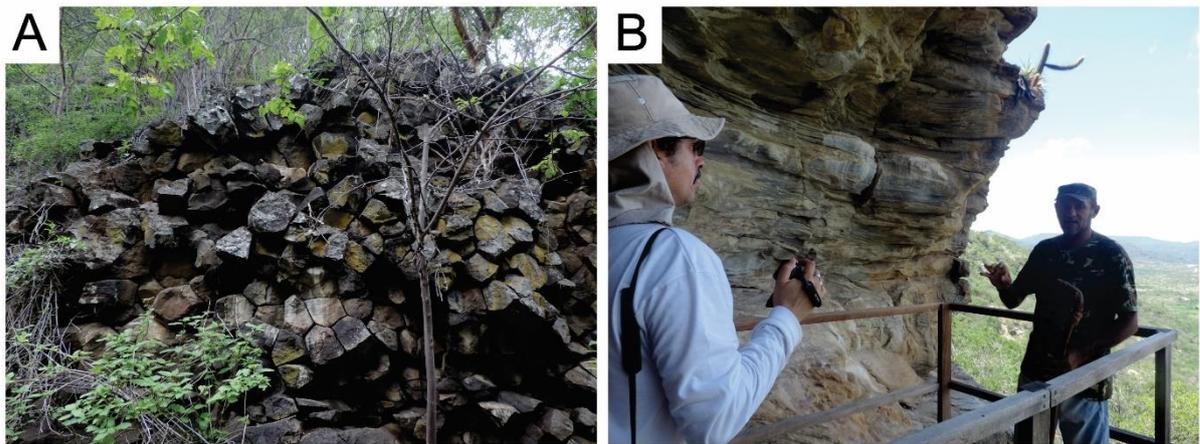


Figura 70 – Exemplos do serviço de conhecimento da geodiversidade: A) História da Terra, com registro de vulcanismo de 25 Ma no Geossítio Vale Vulcânico; B) Emprego para o guia Dean Carvalho que exerce sua atividade no Geossítio Xiquexique. Fotos: Matheus Lisboa.

A partir das avaliações elencadas neste capítulo, a tabela 5 sintetiza os serviços ecossistêmicos identificados no Geoparque Seridó, relacionando-os com os geossítios.

Tabela 5 – Síntese dos serviços ecossistêmicos da geodiversidade identificados na área do Geoparque Seridó de acordo com os geossítios avaliados.

SERVIÇOS	GEOSSÍTIO																
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Bens e processos																	
REGULAÇÃO																	
- <i>Processos Atmosféricos e Oceânicos</i>	NÃO IDENTIFICADO																
- <i>Processos Terrestres</i>	x				x	x			x		x		x				
- <i>Controle de Inundação</i>	NÃO IDENTIFICADO																
- <i>Qualidade da Água</i>				x	x	x			x	x	x		x				x
SUPORTE																	
- <i>Processos do Solo</i>				x													
- <i>Habitat</i>	x				x	x			x				x	x			x
- <i>Plataforma</i>			x				x	x			x		x			x	x
- <i>Sepultamento e Armazenamento</i>	x			x	x	x					x	x		x			x
PROVISÃO																	
- <i>Comida e Bebida</i>	x			x	x	x				x	x		x				x
- <i>Nutrientes e Minerais para Crescimento Saudável</i>	NÃO IDENTIFICADO																
- <i>Combustíveis Minerais</i>	NÃO IDENTIFICADO																
- <i>Materiais para Construção</i>											x	x					x
- <i>Minerais Industriais e Metálicos</i>									x								
- <i>Gemas</i>															x		x
- <i>Fósseis</i>	x				x												
CULTURAL																	
- <i>Qualidade Ambiental</i>	x	x		x		x	x		x	x			x	x	x	x	x
- <i>Geoturismo e Atividades de Lazer</i>				x	x		x							x			x
- <i>Significado Cultural, Histórico e Espiritual</i>	x	x			x		x	x			x	x	x	x	x	x	x
- <i>Inspiração Artística</i>						x	x		x	x				x	x		X
- <i>Desenvolvimento Social</i>	x			x						x				x			
CONHECIMENTO																	
- <i>História da Terra</i>				x		x	x	x	x	x		x					
- <i>História da Pesquisa</i>				x		x			x		x		x				x
- <i>Monitoramento Ambiental</i>	NÃO IDENTIFICADO																
- <i>Geoforenses</i>	NÃO IDENTIFICADO																
- <i>Educação e Emprego</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

GEOSSÍTIOS: 01 – Serra Verde; 02 – Cruzeiro de Cerro Corá; 03 – Vale Vulcânico; 04 – Tanque dos Poscianos; 05 – Lagoa do Santo; 06 – Pico do Totoró; 07 – Morro do Cruzeiro; 08 – Mina Brejú; 09 – Cânions dos Apertados; 10 – Açude Gargalheiras; 11 – Poço do Arroz; 12 – Cruzeiro de Acari; 13 – Marmitas do Rio Carnaúba; 14 – Xique-xique; 15 – Monte do Galo; 16 – Açude Boqueirão; 17 – Mirador

5.3 VALORAÇÃO QUANTITATIVA

Para o estabelecimento de valores quantitativos da geodiversidade, com base em índice de geodiversidade, este trabalho lançou mão de dois métodos que utilizam ferramentas de geoprocessamento.

Assim, foram obtidos resultados que expressam a diversidade abiótica da área estudada, uma vez que esses estão ligados diretamente com a representatividade dos elementos da geodiversidade local.

5.3.1 Método de Pereira *et al.* (2013)

Para a determinação do valor quantitativo da geodiversidade no Geoparque Seridó através do método de Pereira *et al.* (2013), foi sobreposta uma malha com 824 quadrículas de 2x2km sobre cada um dos planos de informação utilizados (geomorfologia, hidrografia, litologia, pedologia e ocorrências minerais).

Para cada dado cartográfico foi obtido um subíndice de geodiversidade representativo do elemento analisado. A soma total dos subíndices determina o índice total da geodiversidade da área estudada.

Na área analisada, o subíndice de geomorfologia (figura 71) apresenta pouca variação, com valores de 0 a 3. Numericamente, os índices mais altos são encontrados, principalmente, na escarpa da Serra de Santana, ao norte da área, no limite da Depressão Sertaneja com o Planalto da Borborema na porção sul e ao longo dos limites da Depressão Interplanáltica do Acauã no centro.

O subíndice de hidrografia (figura 72) é o que apresenta valores numericamente mais baixos entre os subíndices de geodiversidade avaliados. Isso se deve diretamente à hidrografia incipiente na região, ocasionando valores mais elevados apenas nos locais em que ocorrem os encontros dos poucos corpos d'água mapeados.

A representatividade da litologia no índice de geodiversidade do Geoparque Seridó demonstra a variação dos litotipos mapeáveis na região. Os valores mais altos do subíndice (figura 73) específico ocorrem, principalmente, ao redor do Granito de Acari ao centro da região, na porção norte da área, onde ocorrem rochas do embasamento, do Grupo Seridó e de granitos, e ao sul, no entorno do açude Boqueirão, em que ocorrem metaconglomerados, xistos e quartzitos do Grupo Seridó.

O subíndice de pedologia (figura 74) apresenta variabilidade mais alta em termos de vizinhança, pois de uma quadrícula para outra o valor chega a variar 4 números. Isso se deve

não à diversidade de perfis pedológicos, mas à forma de variação desses solos em mapa. Ainda assim, se constitui num componente fundamental do índice de geodiversidade da região.

O subíndice relativo às ocorrências minerais (figura 75) possui valores mais altos nas porções sul e centro-leste do Geoparque, expressando a diversidade de minerais de interesse econômico nestas regiões da área estudada. Como forma de diferenciação entre simples ocorrências minerais e depósitos já identificados, foi definido o valor de 0,5 para cada ocorrência simples e de 1,0 para depósito, o que gerou subíndices de ocorrências minerais variando de 0 a 6.

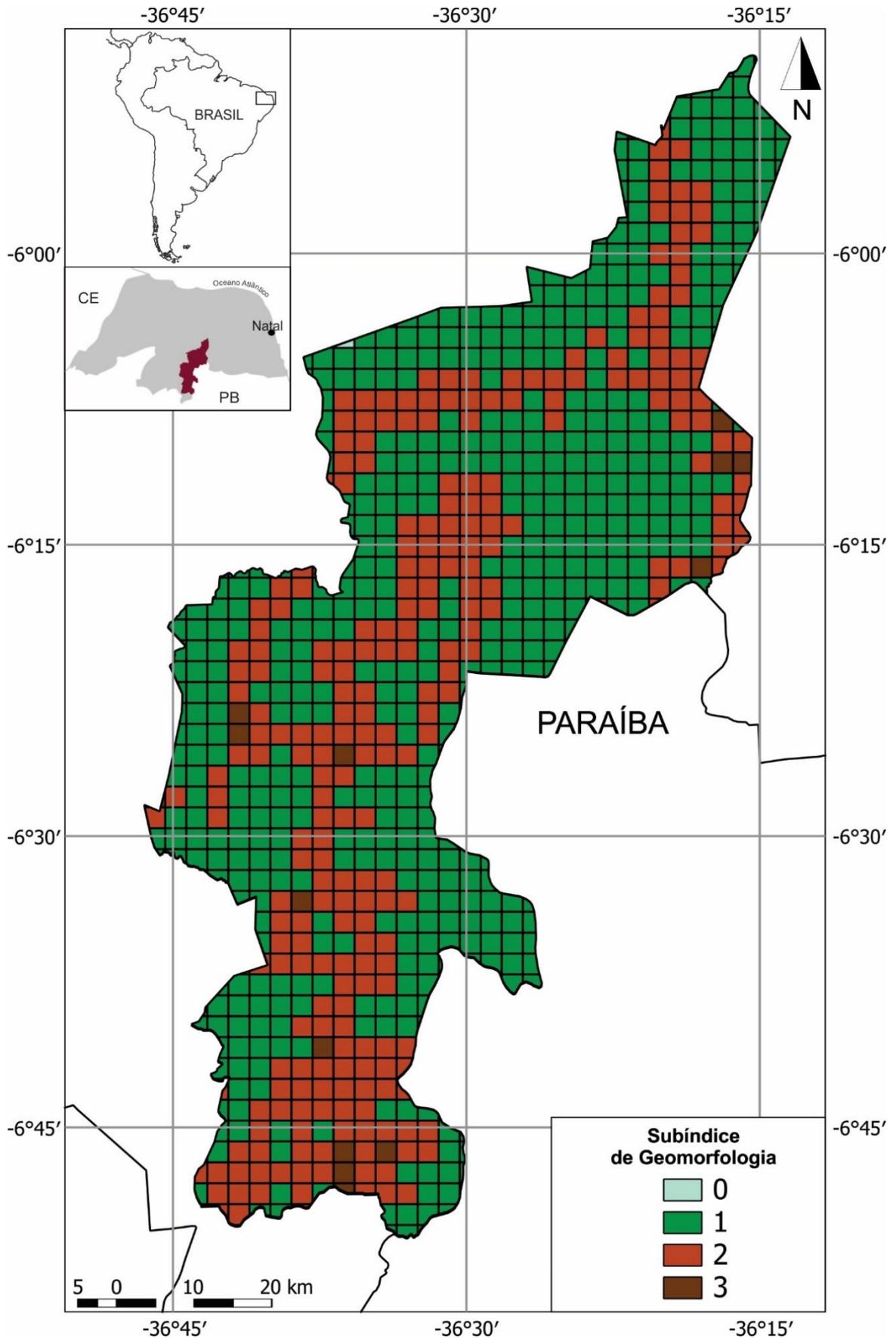


Figura 71 – Mapa de subíndice de geomorfologia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013).

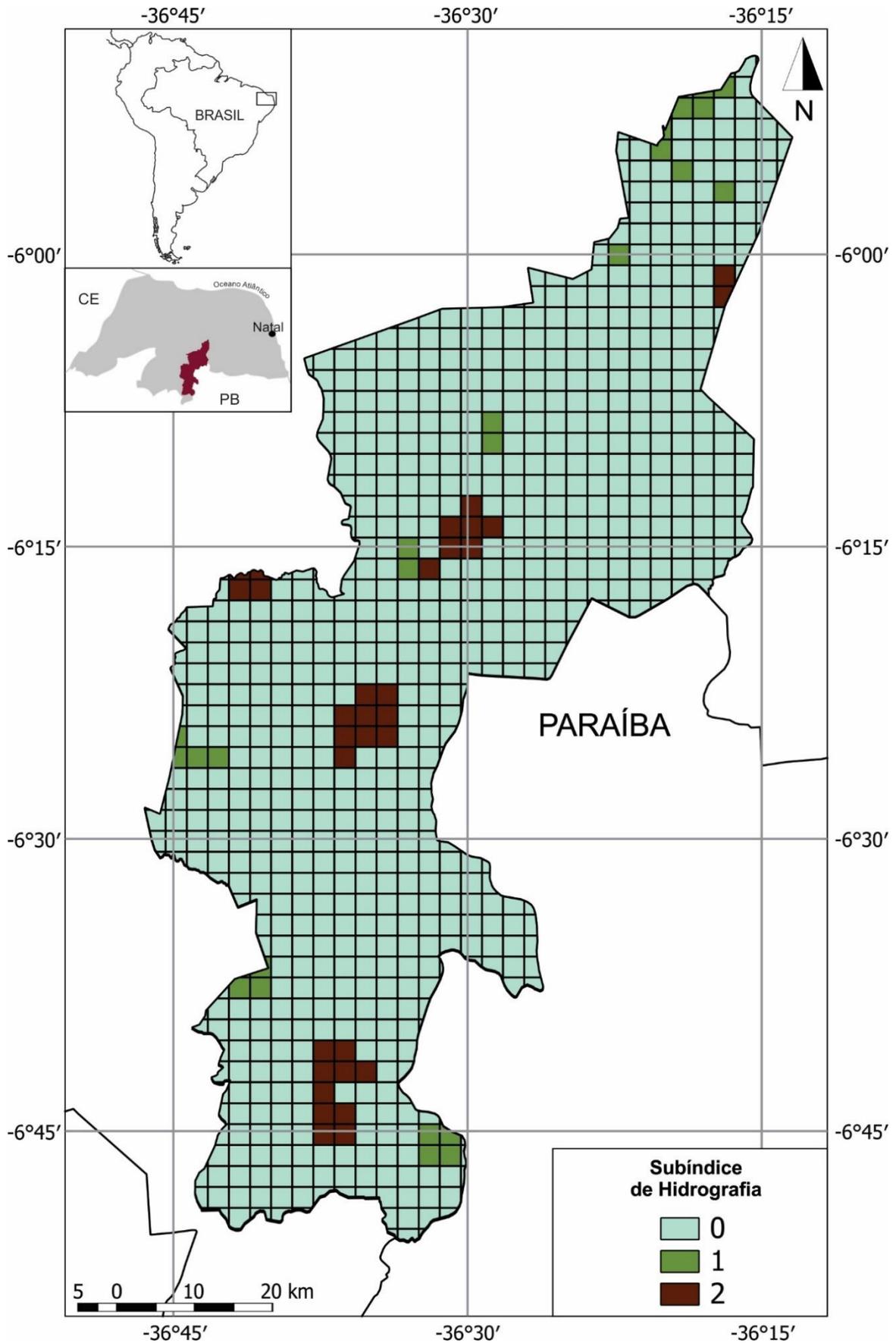


Figura 72 – Mapa de subíndice de hidrografia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013).

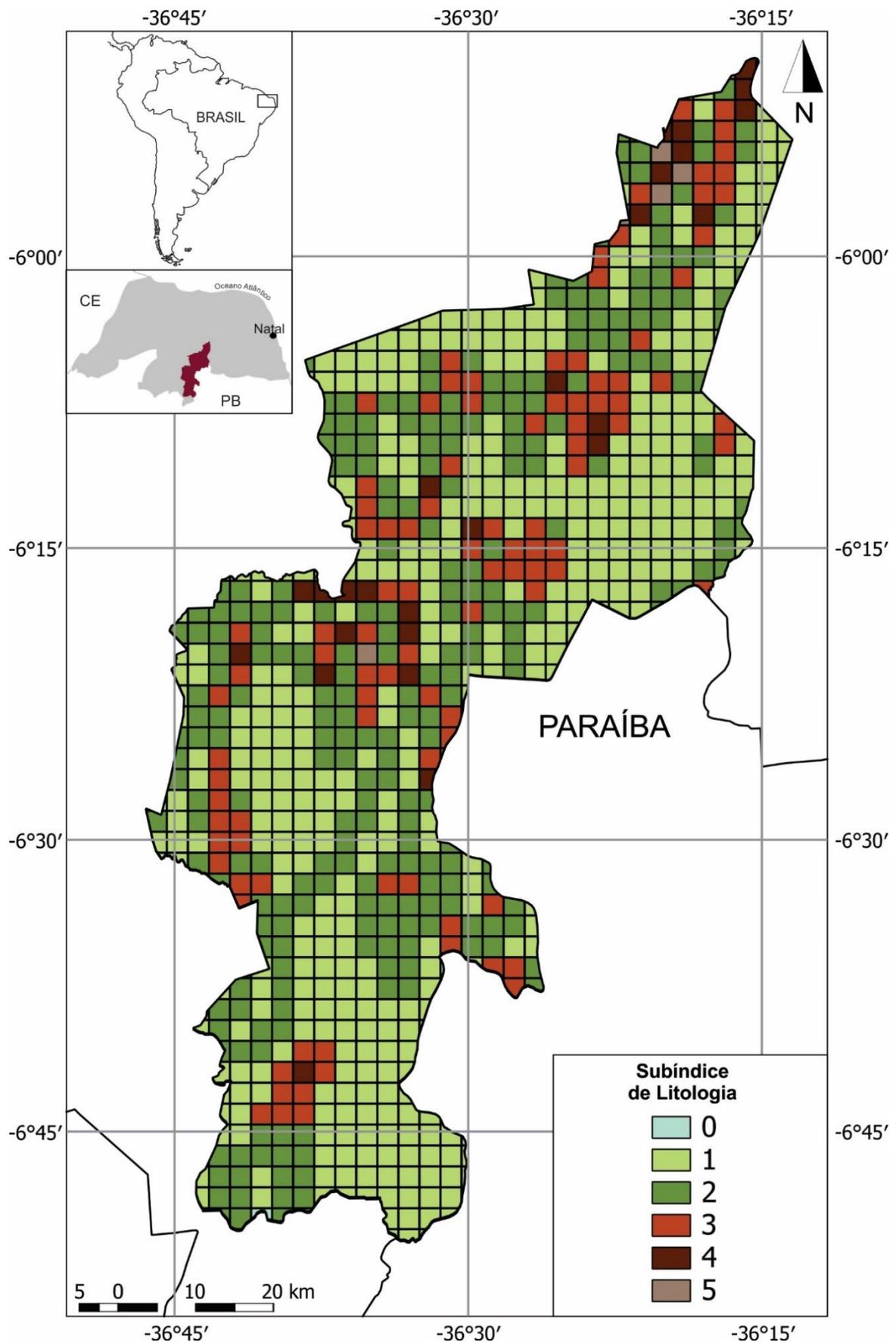


Figura 73 – Mapa de subíndice de litologia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013).

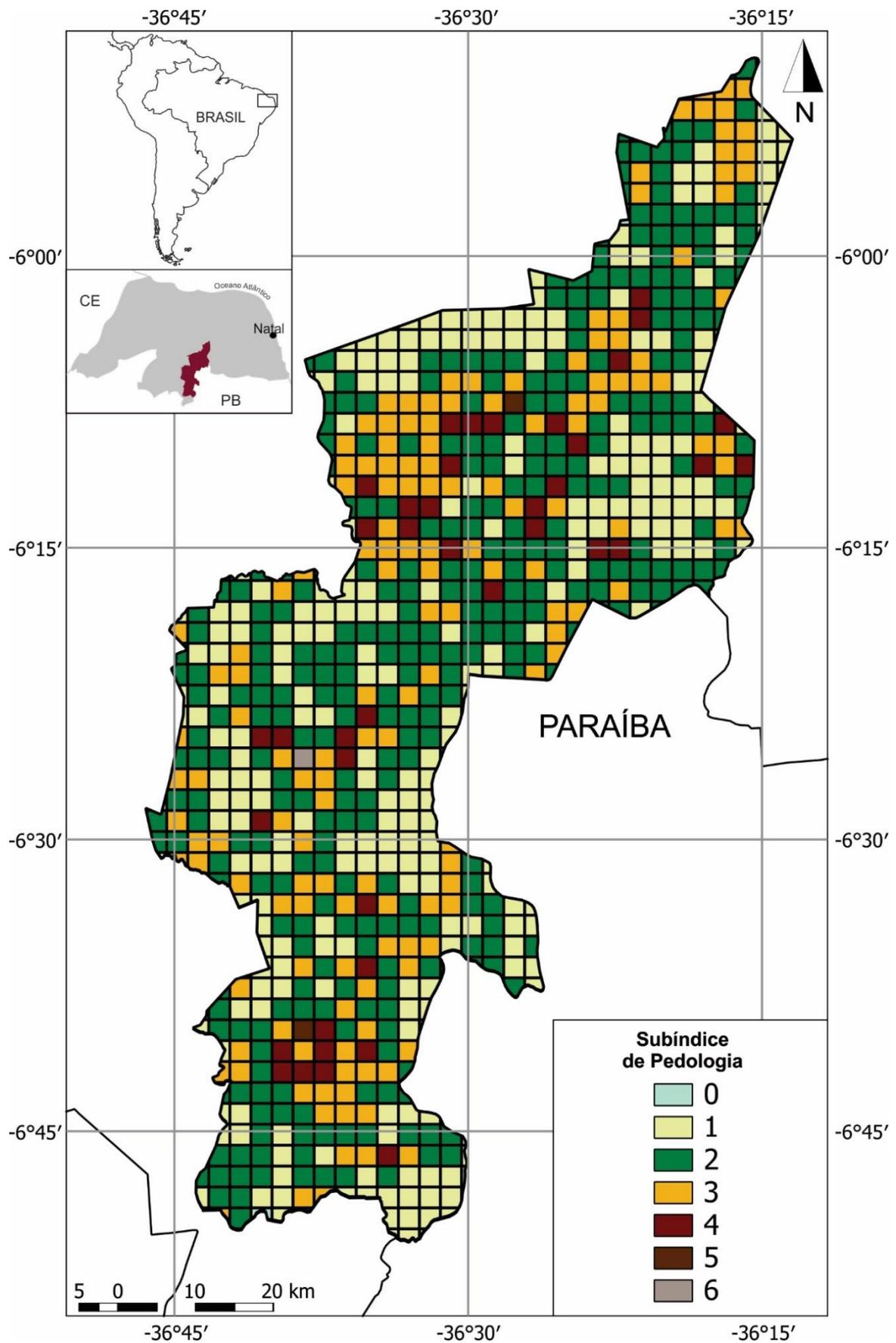


Figura 74 – Mapa de subíndice de pedologia da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013).

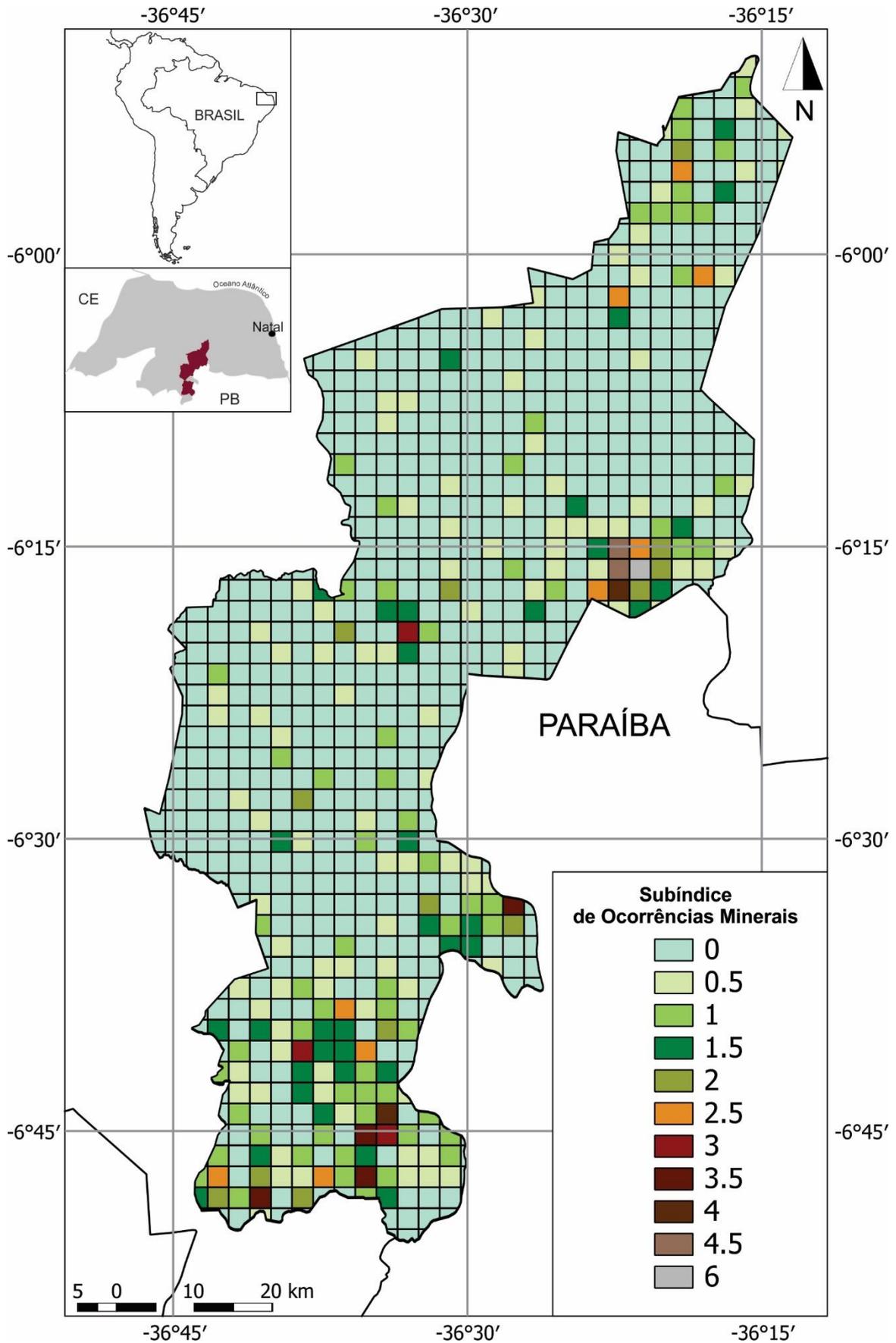


Figura 75 – Mapa de subíndice de ocorrências minerais da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013).

A partir do somatório de todos os subíndices obtidos, chegou-se ao índice de geodiversidade do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013), que é apresentado na figura 76.

De forma a melhor apresentar o resultado total, foi feita a interpolação (figura 77) dos valores através do posicionamento de centroides em cada quadricula da malha de análise utilizada neste trabalho. A escala de índice obtida foi dividida em cinco classes.

Os valores médios e altos de geodiversidade estão localizados em concentrações no Geoparque Seridó: nos extremos norte e sul da área, nos limites da Serra de Santana, numa pequena área do centro-leste e numa faixa central.

Estes resultados apresentam boa correlação com os geossítios do Geoparque. A saber: os geossítios Serra Verde, Cruzeiro de Cerro Corá, Vale Vulcânico, Tanque dos Poscianos, Lagoa do Santo, Pico do Totoró, Morro do Cruzeiro, Mina Brejuí, Cânions dos Apertados, Açude Gargalheiras, Poço do Arroz, Cruzeiro de Acari, Marmitas do Rio Carnaúbas, Xiquexique e Monte do Galo estão localizados em áreas com valores intermediários (3 a 8,5) de geodiversidade.

Os geossítios Açude Boqueirão e Mirador estão posicionados em uma área que apresenta um alto valor (9 a 13,5) de geodiversidade.

Ainda, apenas uma região de alto valor de geodiversidade na área não apresenta nenhum geossítio atualmente associado. Trata-se da porção centro-leste com uma grande concentração de ocorrências minerais, o que elevou o índice desse local.

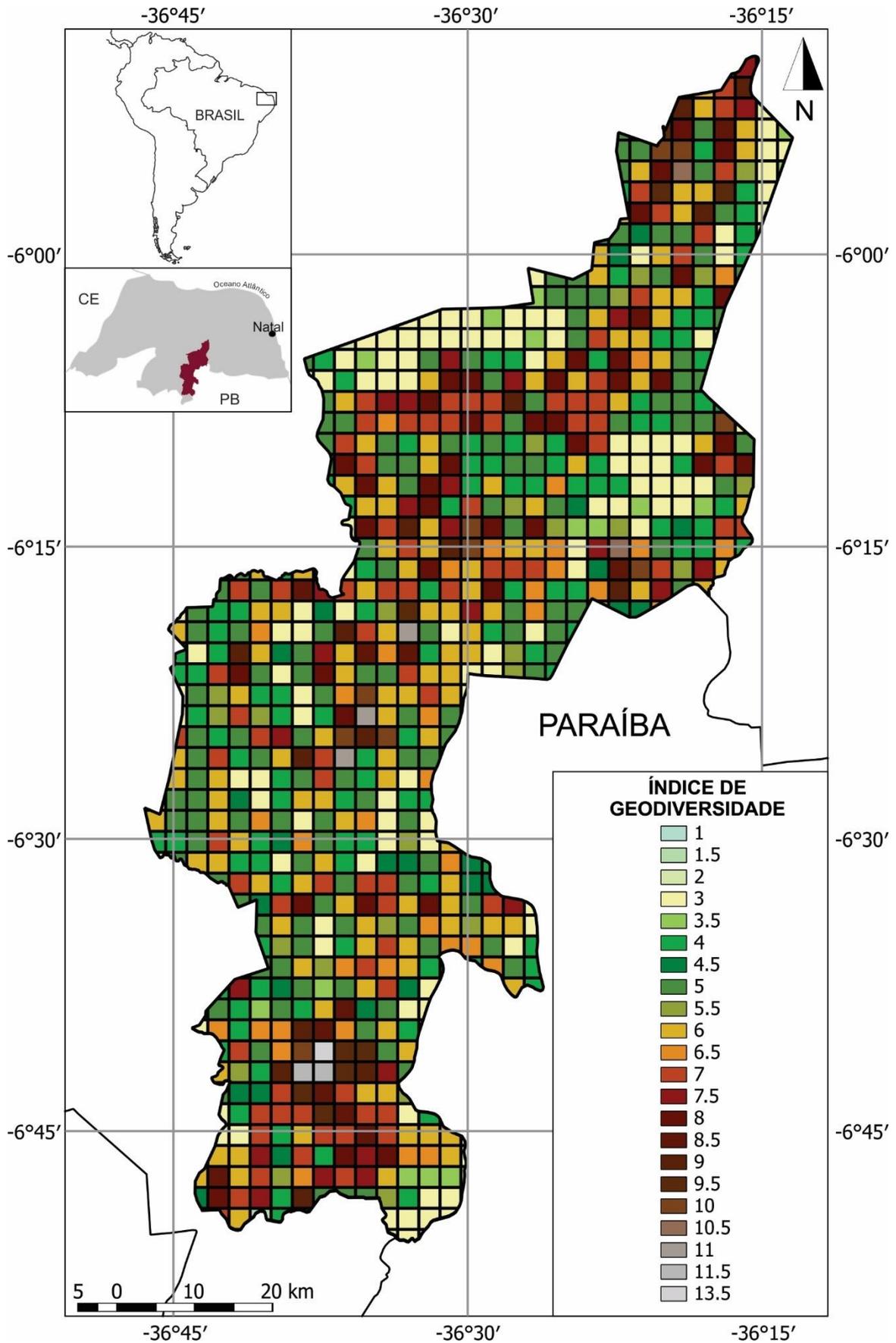


Figura 76 – Mapa de índice de geodiversidade da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013).

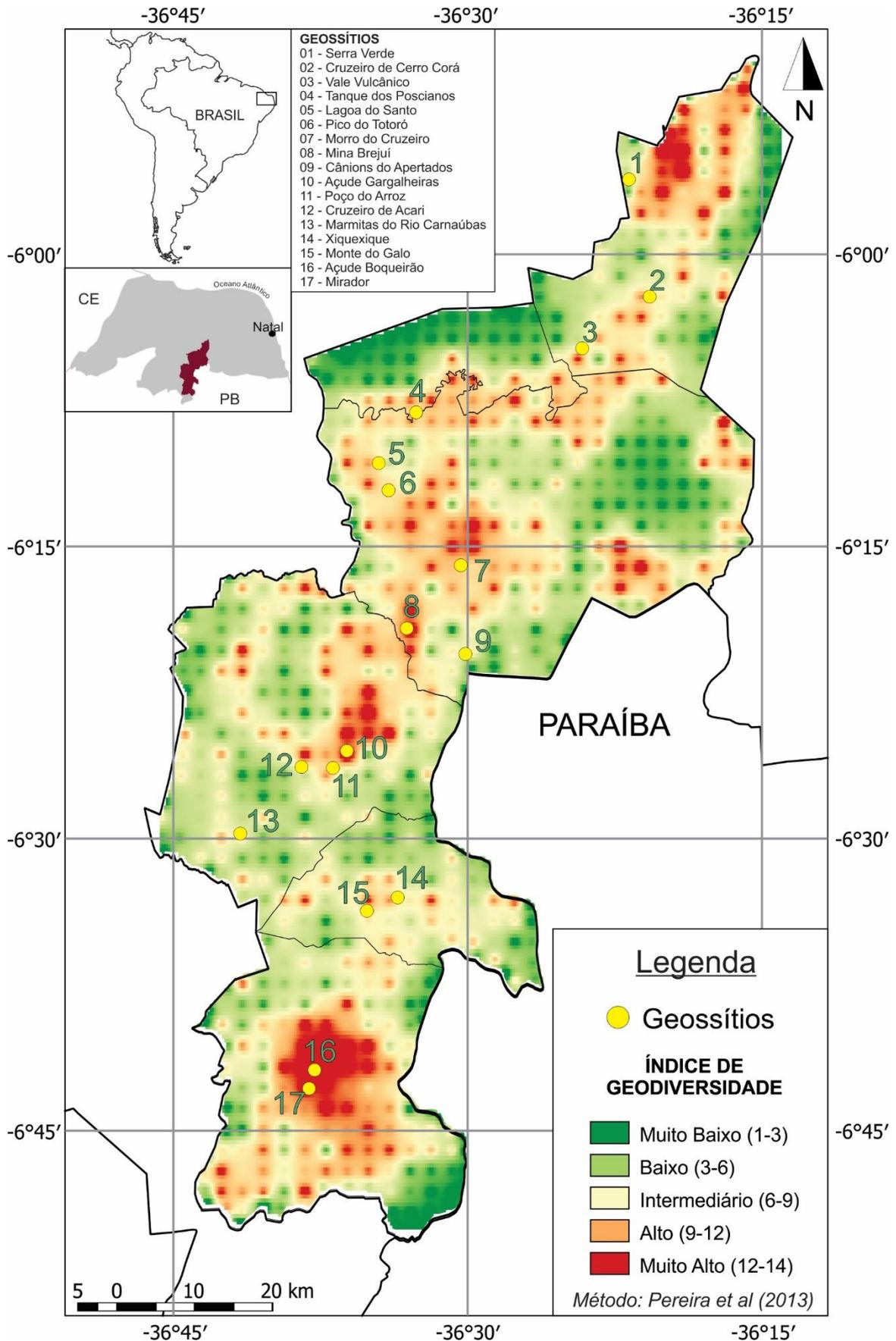


Figura 77 – Mapa de índice de geodiversidade interpolado da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Pereira *et al.* (2013).

5.3.2 Método de Forte *et al.* (2018)

Como efeito de comparação de resultados e de teste da metodologia, a geodiversidade do Geoparque Seridó também foi avaliada quantitativamente pelo método de centroides a partir da união das fontes de informação cartográficas utilizadas neste trabalho.

Assim, a união dos dados poligonais e a posterior criação de seus centroides geraram 1520 dados pontuais, que foram somados aos dados de 485 ocorrências minerais, representados também por geometria pontual. O mapa de união dos polígonos e os seus respectivos centroides com as ocorrências minerais é reproduzido na figura 78.

A representação cartográfica do índice de geodiversidade da área estudada ocorreu através de análise kernel das informações de ponto do mapa de união e gerou o produto da figura 79. Houve a classificação dos dados obtidos em cinco classes de índices, conforme é observado no mapa.

Os valores mais altos do índice de geodiversidade pelo método de Forte *et al.* (2018) são encontrados, na área do Geoparque, em bolsões no limite norte, além de porções centrais. Contudo, a predominância de áreas de valores altos se dá na mais parte mais a sul.

Em relação aos geossítios, apresentam correlação com áreas de valores intermediários a altos ou em sua proximidade os que seguem: Serra Verde, Cruzeiro de Cerro Corá, Vale Vulcânico, Pico do Totoró, Morro do Cruzeiro, Açude Gargalheiras, Poço do Arroz, Cruzeiro de Acari, Xiquexique, Monte do Galo, Açude Boqueirão e Mirador.

Em áreas de índice de geodiversidade mais baixo estão os geossítios Tanque dos Poscianos, Lagoa do Santo, Mina Brejuí e Cânions dos Apertados.

Cinco áreas de valores mais altos de geodiversidade não possuem geossítios incluídos, estas regiões estão relacionadas com uma concentração de ocorrências minerais ou pela diversidade litológica, que é mais variável nestes lugares.

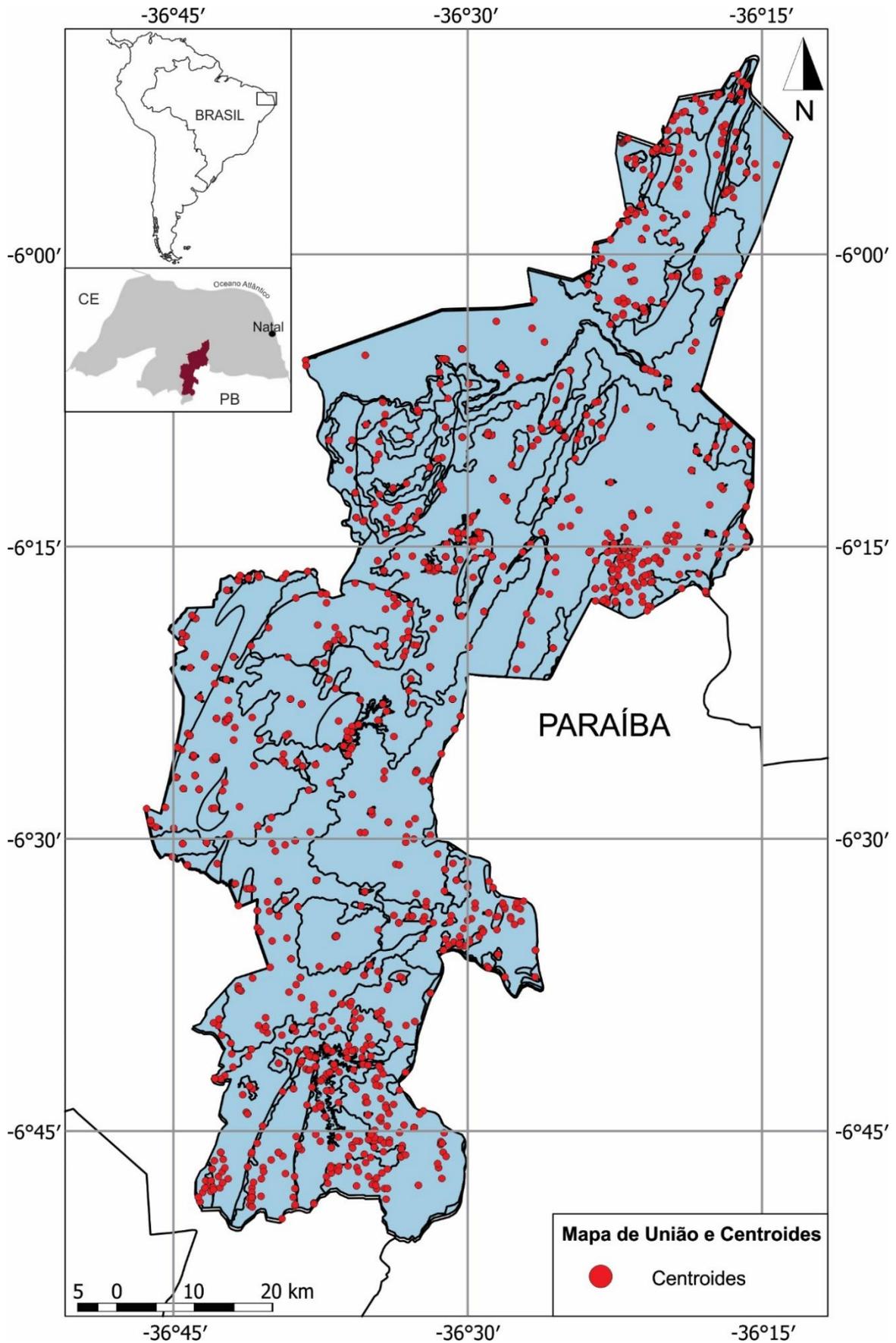


Figura 78 – Mapa de união das informações sobre diversidade abiótica na área do geoparque e centroide dos polígonos.

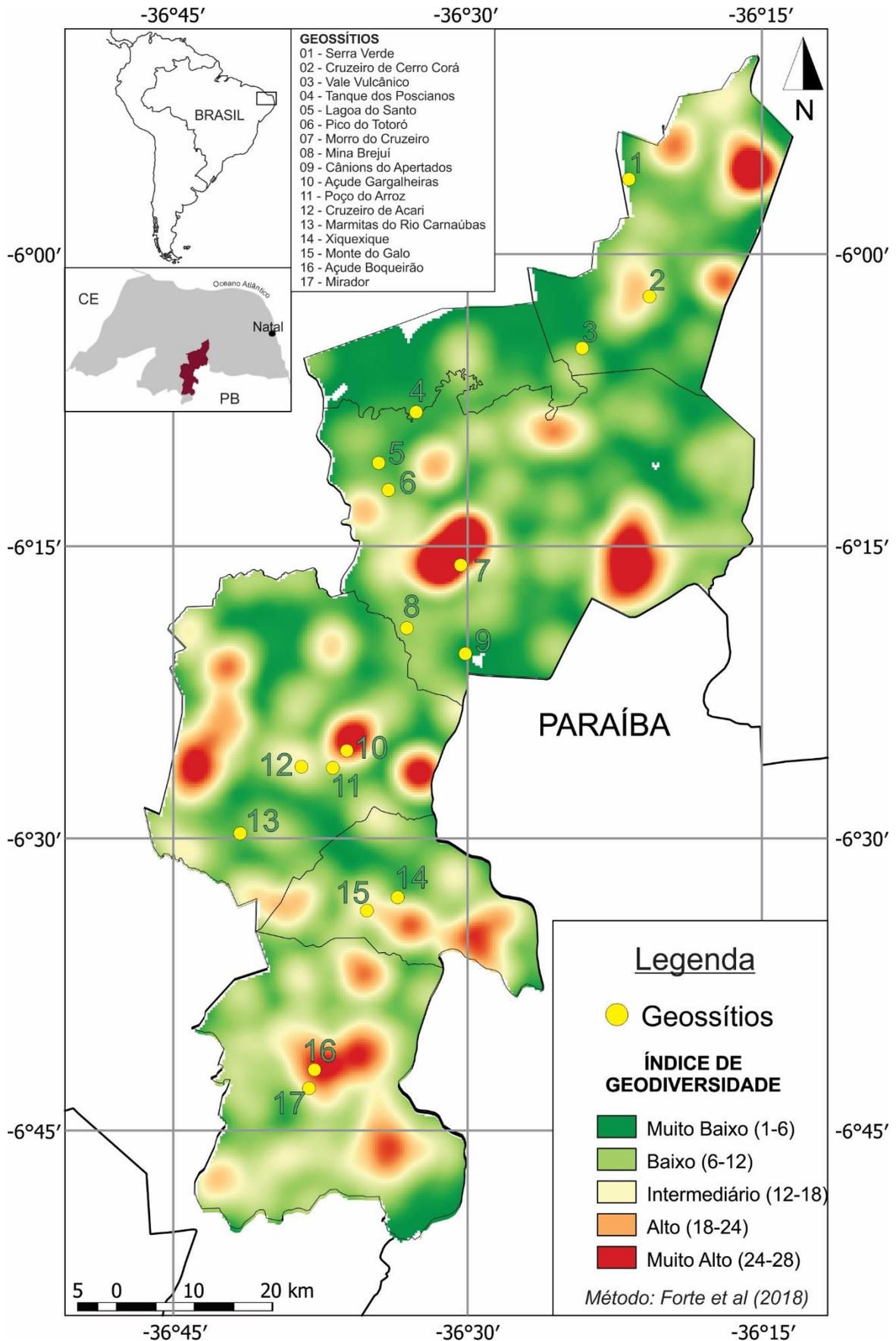


Figura 79 – Mapa de índice de geodiversidade da área do Geoparque Seridó de acordo com o método de Forte *et al.* (2018).

5.4 FOTOGRAMETRIA

Utilizou-se a fotogrametria neste trabalho como exemplo de metodologia tridimensional que pode ser aplicada em estudos de geodiversidade e geoconservação. A partir de 229 fotografias obtidas com câmera de mão e 12 com o uso de drone foi gerado o modelo tridimensional reproduzido nas figuras 80 e 81.



Figura 80 – Parte frontal (a esquerda) e traseira (a direita) do modelo 3D gerado.

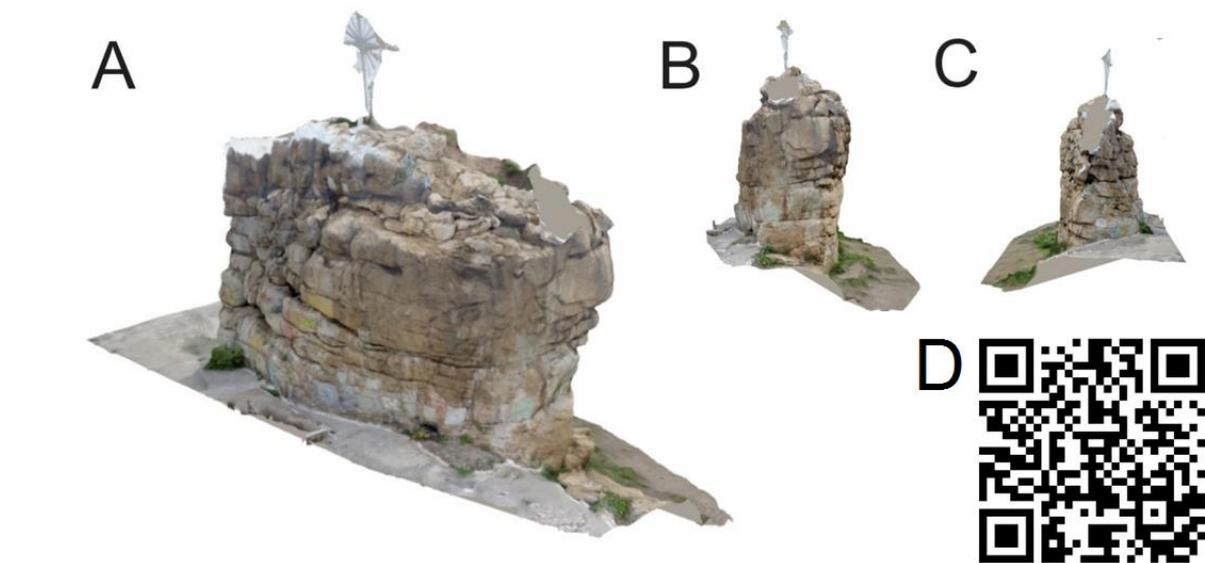


Figura 81 – Modelo 3D gerado por fotogrametria do Geossítio Morro do Cruzeiro. A – Vista frontal; B – Vista lateral direita; C – Vista lateral esquerda; D – QRcode para acesso ao modelo virtual.

O modelo apresenta excelente semelhança com o geossítio imageado, podendo destacar texturas, além das inscrições na rocha e os dois litotipos (micaxisto e pegmatito) presentes no local (figura 82).



Figura 82 – Destaque para os detalhes observáveis no modelo 3D gerado, em que é possível distinguir os dois tipos de rocha presentes no geossítio: micaxisto (base) e pegmatito (principal corpo).

As imprecisões no modelo se dão pela necessidade de uma maior quantidade de imagens que cobrissem o topo do geossítio, o que não foi possível neste trabalho. Dessa forma, foi feita a extrapolação para fechamento da estrutura trigonal do modelo. Ainda, o cruzeiro posto sobre o pegmatito, devido à impossibilidade de se obter fotos de detalhes na altura do monumento, também não foi bem imageado.

A partir do modelo tridimensional digital foi realizada a impressão de um protótipo com altura de 10 cm em impressora 3D. A impressão foi feita em material ABS (acrilonitrila butadieno estireno) num processo que durou 15h e resultou no modelo mostrado na figura 83, no qual não foi impressa o cruzeiro do geossítio devido à modelagem falha deste detalhe.



Figura 83 – Modelo impresso em material ABS com 10cm de altura.

5.5 PRINCIPAIS AMEAÇAS IDENTIFICADAS

A maioria dos geossítios do Geoparque Seridó está localizada em áreas de propriedade privada, o que por um lado, dificulta o acesso aos visitantes, por outro, facilita a conservação da geodiversidade destes locais.

Contudo, é possível identificar algumas ameaças de origem antrópica ou natural aos elementos da natureza abiótica nos locais. Em relação aos problemas derivados da intervenção do ser humano, observa-se que estes estão majoritariamente associados ao que Gray (2013) aponta como a principal ameaça à geodiversidade: a falta de educação, sobretudo ambiental.

Assim, são verificados em alguns geossítios do Geoparque Seridó: pichações nos afloramentos (figura 84), lixo (figura 85), extração indiscriminada de amostras (figura 86).

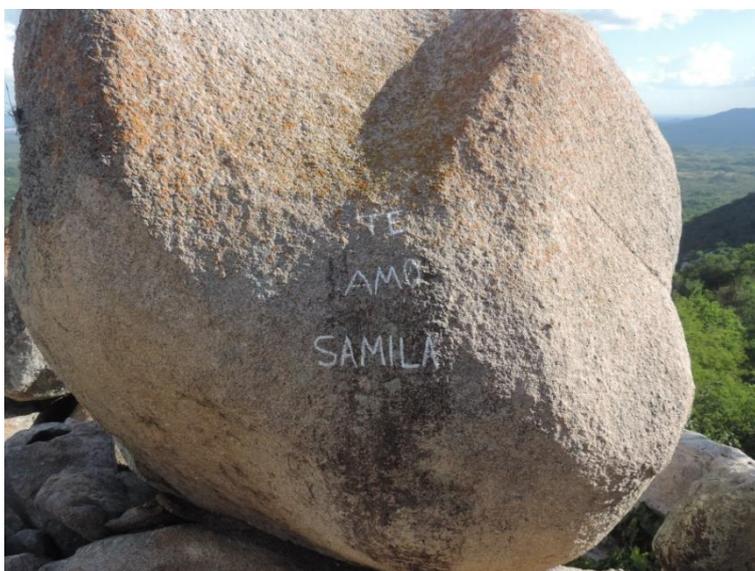


Figura 84 – Pichação no Geossítio Tanque dos Poscianos. Foto: Matheus Lisboa.



Figura 85 – Lixo no Geossítio Cruzeiro de Acari (canto esquerdo inferior). Foto: Matheus Lisboa.

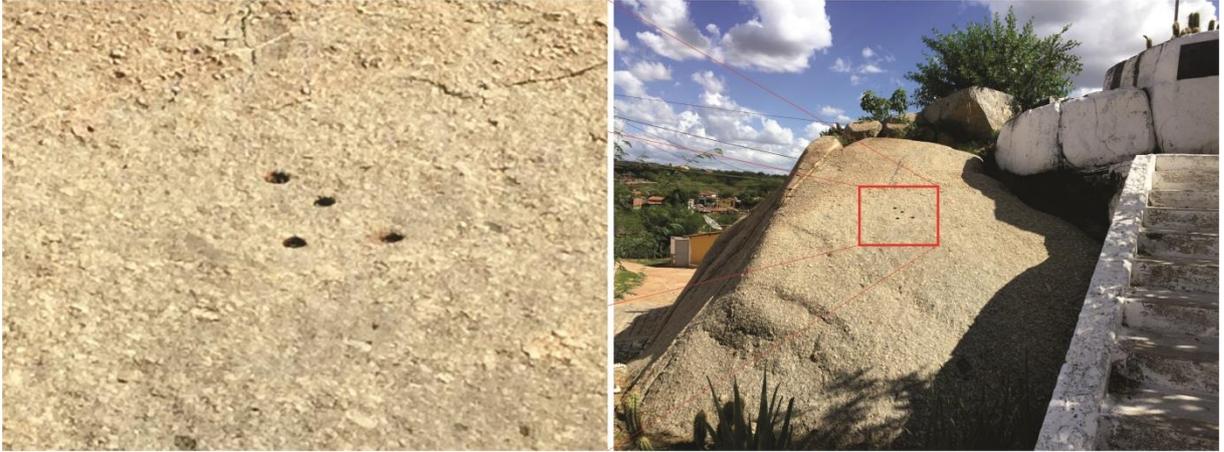


Figura 86 – Destaque à esquerda para furos de amostragem na parte frontal no Geossítio Cruzeiro de Acari. Foto: Kátia Mansur.

Outra interferência antrópica na geodiversidade do Geoparque Seridó que se caracteriza como uma ameaça à diversidade abiótica é o que se pode denominar como uso exaustivo.

Isto está exemplificado pela “Pedra do Sino” no Geossítio Lagoa do Santo. O impacto constante de materiais para produzir o som de badaladas de sino gera um desgaste na rocha, afetando o elemento da geodiversidade encontrado no local, como mostra a figura 87.



Figura 87 – Desgaste do bloco de granito da “Pedra do Sino” (manchas brancas) em função do constante impacto no corpo para a produção do som das badaladas. Foto: Matheus Lisboa.

No Geossítio Serra Verde ocorrem pichações na rocha junto aos registros rupestres originários, o que caracteriza uma ameaça aos patrimônios cultural e natural, como mostra a figura 88, pois além de cobrir a rocha e seus componentes mineralógicos, pode afetar a evidência de existência de povos antigos na região, registrada na geodiversidade local.



Figura 88 – Pichação em forma de coração junto aos registros rupestres encontrados no Geossítio Serra Verde. Foto: Matheus Lisboa.

Um caso que precisa ser avaliado com mais cuidado é o do Geossítio Morro do Cruzeiro, na cidade de Currais Novos, cujo corpo de pegmatito encontra-se com diversas inscrições feitas com tinta (figura 89).



Figura 89 – Inscrições religiosas na parede rochosa de pegmatito no Geossítio Morro do Cruzeiro. Foto: Matheus Lisboa.

Mesmo com o sentido religioso do local, que favorece a escrita de passagens bíblicas na rocha como forma de agradecimento a Deus ou como rito cultural, tais anotações acabam por encobrir os elementos da geodiversidade presentes no local e, por isso, também podem ser caracterizados como ameaças à natureza abiótica.

As próprias condições e processos naturais também podem caracterizar ameaças à geodiversidade. Dessa forma, também foram identificadas ameaças naturais à diversidade abiótica no Geoparque Seridó, principalmente, o intemperismo e a erosão.

Esses processos são responsáveis, por exemplo, pelo deslocamento identificado no granito da Serra do Minador no Geossítio Açude Gargalheiras (figura 90) e pela dissolução do metaconglomerado carbonático no Geossítio Mirador (figura 91).



Figura 90 – Deslocamento do granito no Geossítio Açude Gargalheiras. Foto: Matheus Lisboa.



Figura 91 – Dissolução do metaconglomerado carbonático no Geossítio Mirador. Além de afetar a rocha, torna-se um problema para a conservação dos registros rupestres encontrados no local. Foto: Matheus Lisboa.

6. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos ao longo da execução das atividades desta pesquisa permitem elencar pontos importantes de avaliação do Geoparque Seridó e na proposição de ações que visem a geoconservação, por meio da educação e com o apoio de ferramentas tecnológicas modernas.

6.1 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO GEOPARQUE SERIDÓ

Dos 25 bens e processos, relacionados aos cinco serviços ecossistêmicos da geodiversidade, definidos na metodologia de avaliação de Gray (2013) 19 foram possíveis de serem identificados no Geoparque Seridó.

Os únicos bens e processos não identificados na área foram Processos Atmosféricos e Oceânicos e Controle de Inundação, relacionados ao Serviço de Regulação, Nutrientes e Minerais para Crescimento Saudável e Combustíveis Minerais, Serviço de Provisão, e Monitoramento Ambiental e Geoforenses, que são aspectos do Serviço de Conhecimento da geodiversidade.

Os bens e processos de regulação não identificados estão relacionados com a movimentação dos oceanos ou de uma grande quantidade de água fluvial, o que não é identificado nesta região do interior do Rio Grande do Norte.

Também não ocorre, na área de estudo, a extração de combustíveis minerais, como petróleo, gás e carvão, o que justifica a inexistência deste bem de provisão. Da mesma forma, não se registra o consumo de minerais, solos ou algum outro elemento abiótico na prevenção a doenças ou tratamentos médicos.

Em relação aos bens e processos do serviço de conhecimento não identificados no Geoparque Seridó, estes não foram possíveis de identificar porque não ocorre na região o monitoramento das condições ambientais, como aquecimento global, poluição de água e outros, através dos elementos da geodiversidade locais. Mesmo que este monitoramento ocorra de outra forma, não se caracteriza aqui o uso dos elementos abióticos com esta finalidade. Também não existe dentro dos limites do geoparque o uso de solos ou outros elementos da geodiversidade na busca e coleta de provas para solução de crimes.

Através da definição dos bens e processos identificados, observou-se a predominância de três serviços na avaliação realizada: serviço de suporte, cultural e de conhecimento. Esses são identificados em todos os 17 geossítios analisados na área de estudo.

A significância representada pelo serviço de suporte em todos os geossítios mostra a importância dos elementos de natureza abiótica para o estabelecimento e desenvolvimento da biodiversidade e do ser humano nesta região, a geodiversidade se comprova, portanto, como a base fundamental para a vida e para as atividades humanas no interior do Geoparque Seridó.

O serviço cultural reafirma a relação com povo seridoense com o ambiente em que as comunidades se instalaram. É nítido na região o orgulho e o reconhecimento das pessoas com suas origens, cultura e ambiente, nisto inclui-se o meio físico, sobretudo as paisagens que emolduram o cotidiano do interior potiguar.

Já o serviço de conhecimento, presente em todos os lugares de interesse geológico, mostra o relevante conteúdo científico do Geoparque Seridó, refletido em trabalhos de pesquisa ou em atividades de educação cuja ferramenta de ensino são os elementos da geodiversidade local.

Esses dois serviços são os mais importantes na fundamentação de um geoparque, visto que, por definição, deve ser uma área que além de possuir um patrimônio geológico notável, que denota um alto valor científico, deve ser integrado com as comunidades locais, permitindo um desenvolvimento sustentável e o próprio reconhecimento das pessoas com o projeto e com o ambiente em que vivem, o que vem definir o serviço cultural da geodiversidade.

Dos 17 geossítios considerados para avaliação neste trabalho, sete possuem todos os serviços ecossistêmicos da classificação de Gray (2013) associados. São eles: Serra Verde, Lagoa do Santo, Pico do Totoró, Açude Gargalheiras, Poço do Arroz, Marmitas do Rio Carnaúba e Açude Boqueirão.

Por esse motivo, esses geossítios podem ser considerados, qualitativamente, os mais ricos em termos de geodiversidade, pois os elementos neles contidos são exemplos para os principais processos que a natureza abiótica está envolvida no contexto de ecossistema e na disponibilização de recursos para o ser humano.

Nestes locais, a quantidade de informação é superior e por isso podem ser priorizados em fases de definição de roteiros geoturísticos para a região do Geoparque Seridó. Um exemplo disto é dado pela figura 92, do trabalho de Silva *et al.* (2017), em que houve a definição dos serviços primários e secundários de cada geossítio. São, portanto, aqueles mais bem representados em cada local.

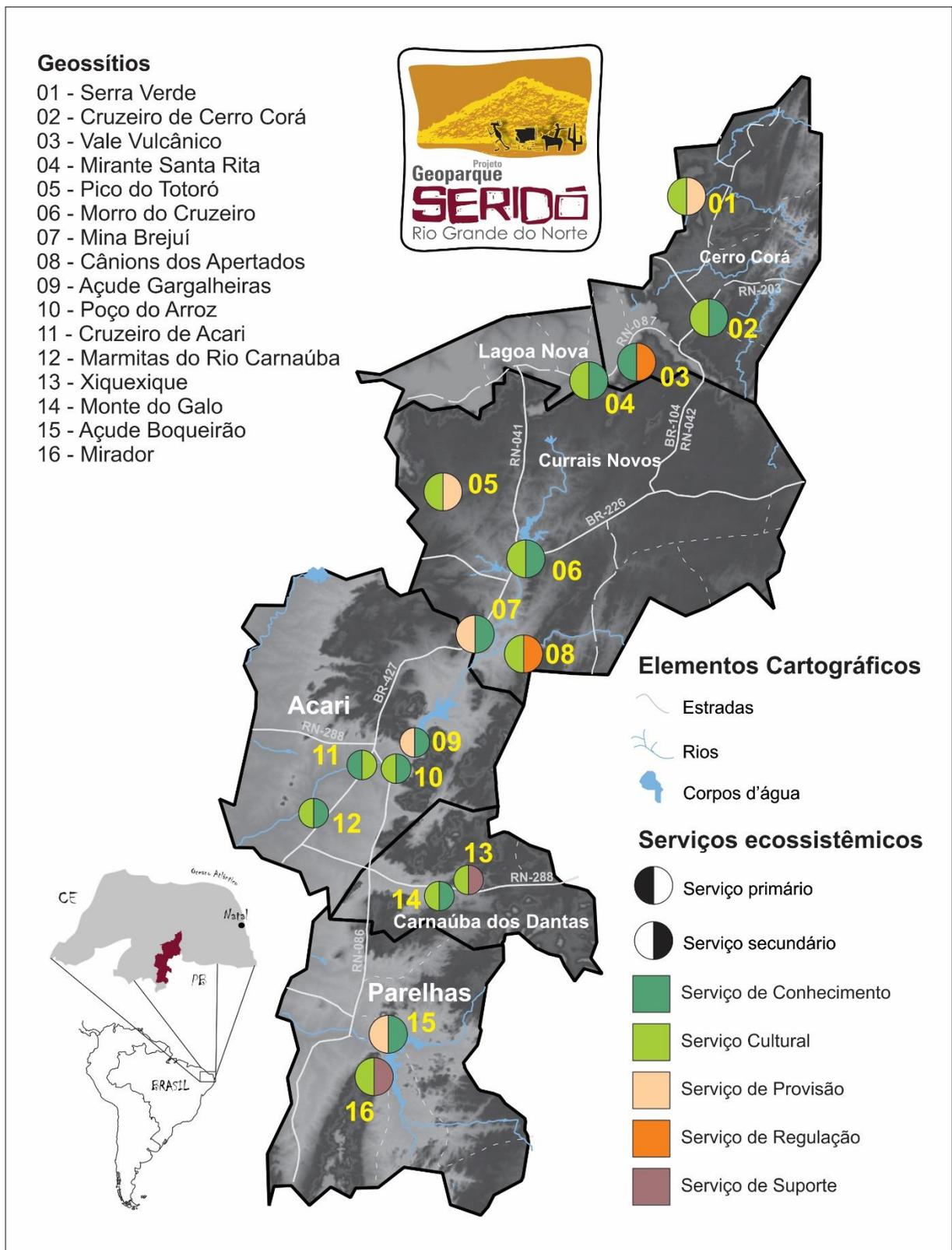


Figura 92 – Mapa mostrando a distribuição espacial dos geossítios e a identificação dos seus serviços primário e secundário. Fonte: Silva *et al.* (2017).

No processo de elaboração de roteiros para o Geoparque Seridó, podem ser destacados alguns geossítios a depender dos objetivos das visitas e do público alvo. No caso exemplar de

um grupo desejar entender como a geodiversidade pode funcionar como habitat para os seres humanos, a visita pode ser direcionada aos municípios do extremo sul do Geoparque Seridó, Carnaúba dos Dantas e Parelhas, onde são encontrados dois geossítios nos quais foi identificado um serviço de suporte associado às comunidades pré-históricas que viveram na região.

Mesmo no caso da predominância dos serviços de conhecimento e cultural nos geossítios, a avaliação de todos os pontos pode facilitar a definição dos destinos dos roteiros, a depender da proximidade com outros geossítios. Um exemplo disto é que entre a porção sul do município de Currais Novos e o município de Carnaúba dos Dantas encontra-se, numa pequena área, a concentração de todos os serviços ecossistêmicos da geodiversidade, o que pode favorecer roteiros de curta duração, abrangendo informações mais diversas sobre os elementos abióticos da natureza e sua relação com o ecossistema.

Contudo, a depender do objetivo e tempo de cada visitante, os outros locais devem ser também visitados, uma vez que a predominância da totalidade dos serviços ecossistêmicos em alguns geossítios não é delimitadora da importância dos demais.

De fato, os serviços ecossistêmicos explicam a importância dos elementos da geodiversidade para o estabelecimento e manutenção das condições ambientais e, por isso, ao identificar esta relação, permite uma melhor gestão dos recursos naturais e no desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis, assim como afirmam Gray (2013), Gordon & Barron (2013) e Hjort *et al.* (2015).

Logo, a identificação dos serviços no Geoparque Seridó disponibiliza informações relevantes para o entendimento do meio em que se insere o projeto, possibilitando melhor planejamento de atividades relacionadas à proteção dos elementos abióticos da natureza.

6.2 VALORES QUANTITATIVOS DO GEOPARQUE SERIDÓ

Os dois métodos de avaliação quantitativa utilizados nesta pesquisa mostraram bons resultados na delimitação de regiões com índice de geodiversidade mais alto, comparativamente com a média global da área.

Ambos os métodos, ao passo que utilizam ferramentas de geoprocessamento na análise da geodiversidade, tornam-se dependentes das fontes cartográficas disponíveis. Como o interior do Rio Grande do Norte possui um déficit de mapas em escala de detalhe, os resultados expressam apenas as feições em menores escalas.

Com a confecção de nova base cartográfica, de maior detalhe, os resultados de ambos os métodos serão modificados e delimitarão de forma ainda mais satisfatória as áreas de índice

de geodiversidade mais altos, que devem ser priorizadas nas ações de geoconservação que possam vir a ser implementadas.

Em geral, os valores mais altos são influenciados, principalmente, pelo número de ocorrências minerais, pela litologia e geomorfologia locais. Observa-se uma concentração de locais de índices médios a altos na escarpa da Serra de Santana, onde há uma variação litológica e de relevo bastante evidente, traduzida no valor quantitativo da região.

A Depressão Interplanáltica de Acauã, no centro do geoparque, também representa uma região de alto índice de geodiversidade, assim como as regiões ao sul e centro-leste da área, onde há muitas ocorrências minerais mapeadas.

O resultado das avaliações quantitativas demonstra a necessidade de estabelecimento de um novo geossítio, que viria ser o décimo oitavo, na área do extremo leste do Geoparque Seridó, em que nos dois métodos se apresentou com alto índice de geodiversidade, mas que não possui nenhum local de interesse geológico identificado no inventário. Novos trabalhos de campo devem evoluir dados sobre as demais áreas do Geoparque.

Não é possível fazer uma clara relação entre o índice de geodiversidade e o número de serviços ecossistêmicos identificados nos geossítios (figura 93), visto que existem locais com índice numericamente mais altos que possuem menos serviços avaliados, como é o caso do Geossítio Morro do Cruzeiro (índice alto e três serviços identificados) em comparação com o Geossítio Cruzeiro de Acari (índice intermediário e cinco serviços identificados). Contudo, os geossítios apontados anteriormente como os de maior destaque em relação à avaliação qualitativa da geodiversidade estão localizados em áreas de geodiversidade intermediária a muito alta.

Assim, pode-se afirmar que Serra Verde, Lagoa do Santo, Pico do Totoró, Açude Gargalheiras, Poço do Arroz, Marmitas do Rio Carnaúba e Açude Boqueirão possuem uma rica geodiversidade, tanto qualitativa quanto quantitativamente.

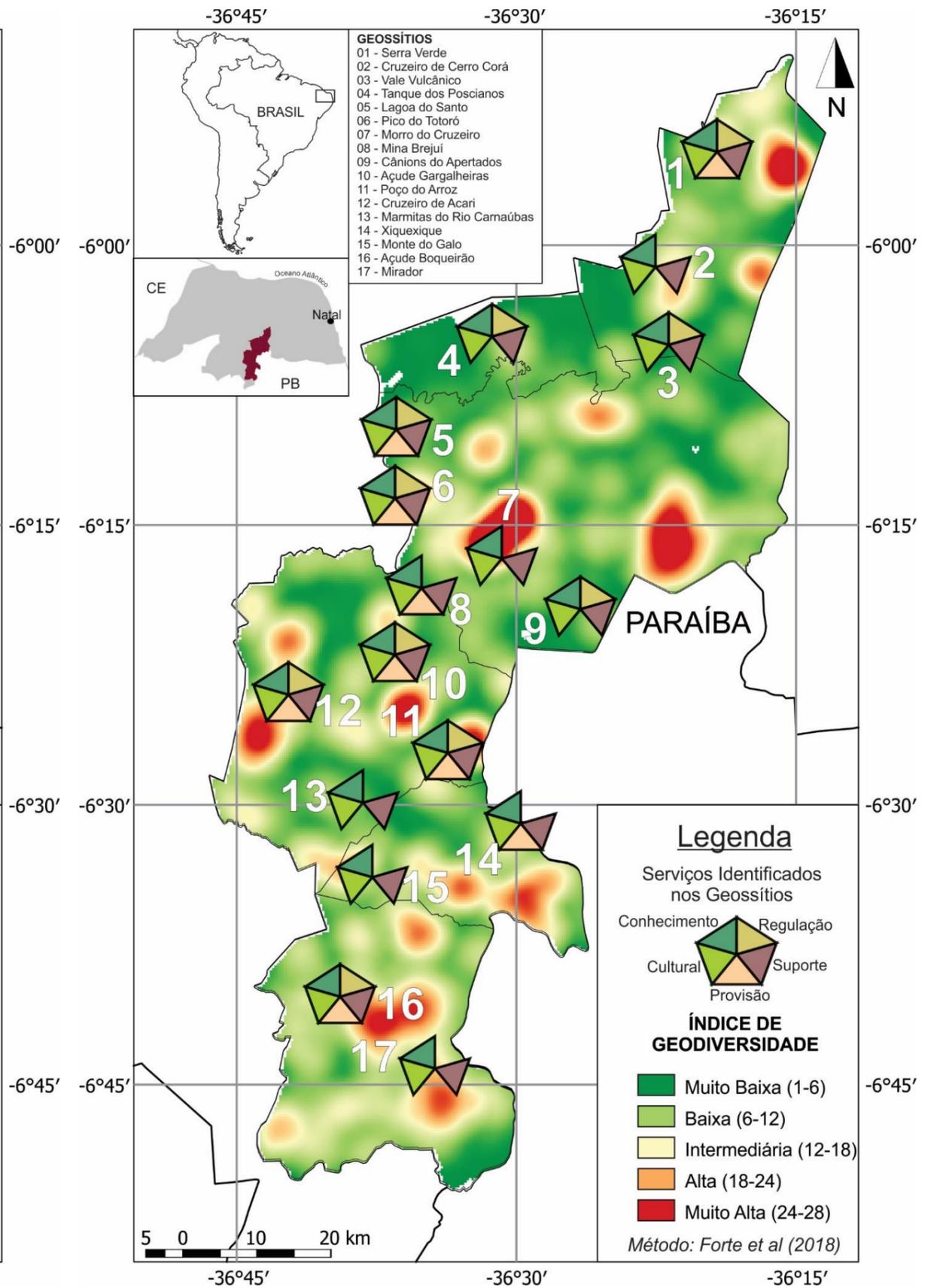
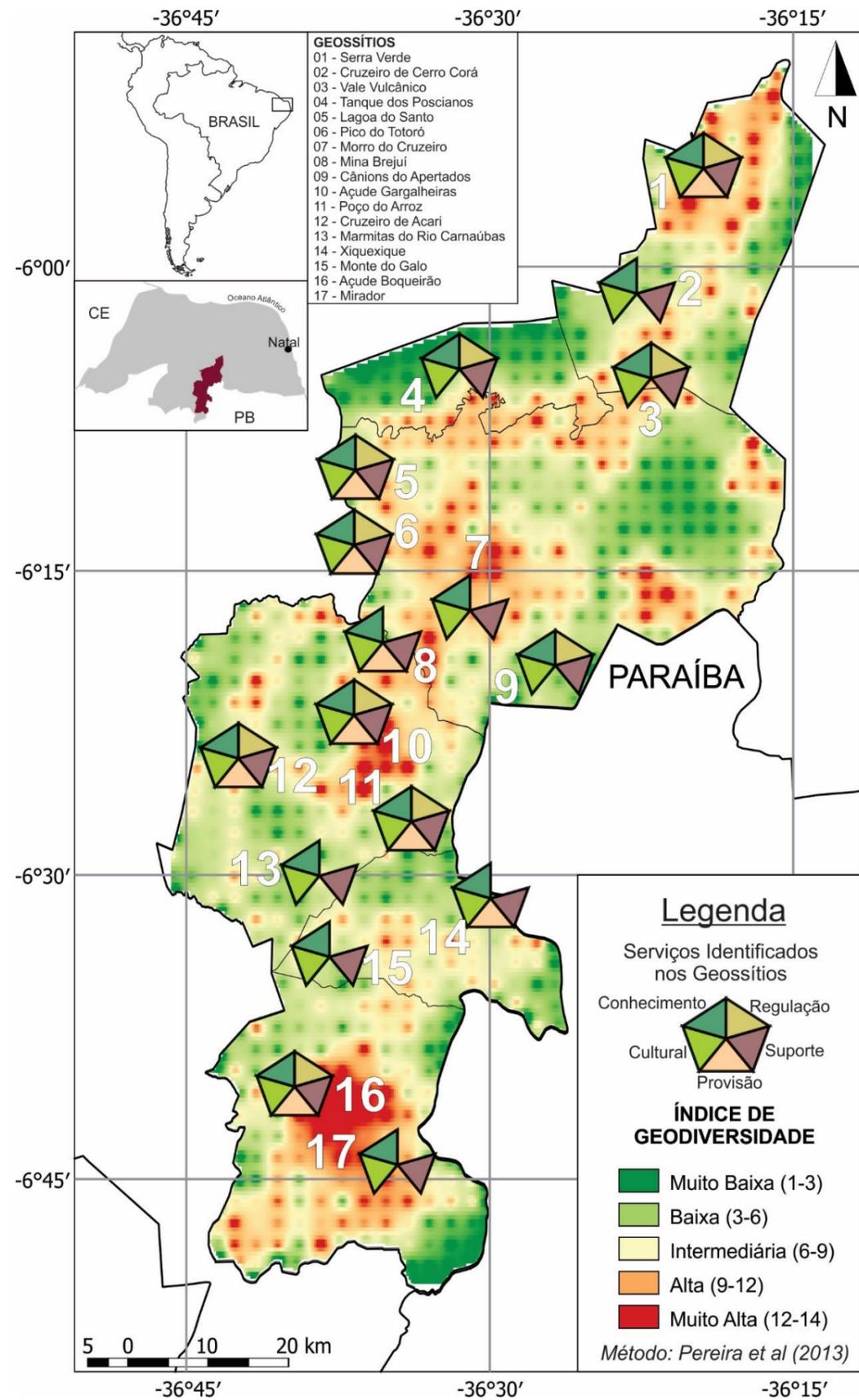


Figura 93 – Mapas quantitativos de geodiversidade com avaliação qualitativa dos geossítios do Geoparque Seridó. A esquerda, segundo o método de Pereira *et al.* (2013) e, a direita, segundo o método de Forte *et al.* (2018).

Em relação à uma avaliação sobre a aplicabilidade das metodologias de análise quantitativa da geodiversidade, os resultados obtidos pelos métodos de Pereira *et al.* (2013) e de Forte *et al.* (2018) mostram forte semelhança. Uma vez que a abordagem com uso de malhas poligonais sobre os dados cartográficos já se encontra amplamente utilizada na literatura (Silva *et al.* 2013, Torab & Farghaly 2015, Araújo & Pereira 2016, Santos *et al.* 2017), os seus resultados podem ser levantados como parâmetros para a validação de outros métodos quantitativos, como a segunda metodologia utilizada neste trabalho.

Ainda, o método de Forte *et al.* (2018) demonstra uma interpolação de aparência mais didática. Isto ocorre porque os dados pontuais interpolados estão espalhados de forma irregular uma vez que representam os centroides dos polígonos de união das informações cartografadas.

Para a interpolação do método de Pereira *et al.* (2013) são utilizados os pontos centrais de cada quadrícula do *grid*, o que gera uma malha mais regular, conduzindo a interpolação a uma forma mais quadrática, de aspecto visual menos contínuo, ainda que correto.

Pode-se, portanto, afirmar que ambos os métodos apresentam uma aplicabilidade bastante elevada no que tange à avaliação quantitativa da geodiversidade de uma área, em forma de índice, principalmente por serem metodologias não subjetivas, sem intervenção direta do avaliador e dependente somente da representação cartográfica dos elementos a serem computados para fins de pontuação.

6.3 APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS TRIDIMENSIONAIS

A geração do modelo tridimensional do Geossítio Morro do Cruzeiro atingiu um resultado bastante satisfatório. Apesar da existência de algumas inconsistências no modelo devido à falta de informação fotográfica aérea, pode-se criar uma representação digital detalhista deste local de interesse geológico, que também está integrado ao cotidiano cultural e religioso da cidade de Currais Novos.

A representação digital possibilita diversas aplicações como uso em sala de aula para aulas de geologia e geografia, uso em centro interpretativo ou em outros locais para divulgação do geossítio no Geoparque Seridó.

Além disso, os modelos podem ser personalizados com pinturas feitas por artistas da região, agregando valor socioeconômico ao produto e ajudando no desenvolvimento sustentável das comunidades, o que é um dos objetivos do geoparque.

O uso contínuo de técnicas tridimensionais como a fotogrametria pode também ser uma excelente forma de monitoramento das condições físicas dos geossítios, observando ano a ano

as mudanças nas modelagens realizadas, permitindo um melhor planejamento das ações de conservação de geossítios no geoparque.

É possível afirmar a plausibilidade do uso de uma metodologia tridimensional de baixo custo em geodiversidade e geoconservação, principalmente em uma área extensa como são as definidas por projetos de geoparques.

6.4 PROPOSTAS DE GEOCONSERVAÇÃO

A partir do que foi observado na área de estudo e baseando-se também nos resultados obtidos no âmbito desta pesquisa, podem-se fazer algumas proposições de ações de geoconservação para o Geoparque Seridó.

As propostas aqui estão elencadas em três premissas básicas: educação, uso de tecnologias e sinalização.

– Educação

Atualmente, já existem projetos de educação ambiental voltados para o meio físico no âmbito do geoparque, sobretudo na cidade de Currais Novos, onde se observa uma estrutura de apoio na gestão municipal.

Os projetos atuais focam na conservação dos lugares de interesse geológico através de atividades lúdicas com os alunos, como planejamento de exposições, de criação artísticas, em conjunto com os professores e coordenadores das escolas, integração fundamental no desenvolvimento das ações.

É preciso incentivar ações deste tipo nos demais municípios que integram o Geoparque Seridó, com alvo nas escolas municipais de nível básico, fundamental e médio. Também é necessário ir até as comunidades rurais e explicar aos moradores o que é o geoparque e como eles podem se beneficiar do projeto.

Estas ações podem ser feitas separadamente por cada município através da constituição de grupos de trabalhos municipais do geoparque ou ainda sob a coordenação de um comitê geral de educação do geoparque.

Ainda, é possível criar trabalhos de educação nas escolas das grandes cidades do estado, como a capital Natal e outras cidades como Mossoró e Parnamirim, de forma a divulgar o geoparque e as geociências, angariando futuros visitantes e propagadores da geoconservação.

– Uso de Tecnologias

A partir do modelo tridimensional feito neste trabalho para o Geossítio Morro do Cruzeiro, propõe-se o uso da fotogrametria em todos os geossítios do geoparque, priorizando, inicialmente, aqueles que tenham dimensões areais restritas, pontuais, de forma a se criar arquivos digitais que possam ser utilizados em aulas, exposições e na divulgação geral do Geoparque Seridó.

O uso de metodologias tridimensionais, além de ser uma ferramenta lúdica, proporciona diversas aplicações. Representar em um espaço virtual a geodiversidade de geossítios no geoparque é uma forma didática de captar a atenção do público e, a partir disto, promover a geoconservação.

– Sinalização

O Geoparque Seridó ainda carece de sinalização, de direcionamento para os geossítios e informativa nos locais. Apenas os geossítios Vale Vulcânico, Pico do Totoró, Lagoa do Santo, Mina Brejuí e Cânions dos Apertados possuem sinalização vertical de orientação, como visto nas figuras 94 e 95.



Figura 94 – Sinalização vertical de orientação para o Geossítio Vale Vulcânico.



Figura 95 – Sinalização vertical de orientação para os geossítios Pico do Totoró e Lagoa do Santo

Precisa-se, portanto, estabelecer sinalização no geoparque, com identidade própria, que facilite a chegada aos geossítios. Ao mesmo tempo, a instalação de painéis nos lugares é uma das formas possíveis de disponibilizar informações aos visitantes sobre a geodiversidade local.

Os painéis precisam ser sucintos, com diagramação atraente e posicionados no geossítio de forma que não seja uma agressão visual ao local, mas que permita ao leitor fazer uma boa correlação do texto com o ambiente visitado.

– Infraestrutura

Em geral, o Geoparque Seridó ainda não apresenta geossítios bem estruturados para a visitação pública em geral, alguns apresentam difícil acesso, com cercas ou trilhas fechadas. À exceção se dá aos geossítios que estão nas áreas urbanas, como o Geossítio Morro do Cruzeiro, que estão estabelecidos como atrativos temáticos, caso do Geossítio Mina Brejuí, ou que já são sítios protegidos legalmente, caso do Geossítio Xiquexique e Geossítio Mirador, já protegidos e estruturados como sítios de interesse arqueológico pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional).

É preciso, portanto, diversos trabalhos de estruturação dos geossítios, melhorando sua acessibilidade e facilitando o acesso. Naqueles em que não seja possível uma intensa melhoria, devido às características naturais dos locais, deve-se ter essa observação repassada aos visitantes.

Em meio às discussões desenvolvidas ao longo deste capítulo, pode-se elucidar que o estabelecimento dos serviços ecossistêmicos juntamente com a definição de valores quantitativos no âmbito do Geoparque Seridó são ferramentas de auxílio na compreensão da importância dos elementos abióticos da natureza para o funcionamento e equilíbrio do ecossistema, também integrando o desenvolvimento socioeconômico neste processo.

Ao possibilitar a interpretação desta relação e indicar os principais locais a serem protegidos, os resultados funcionam como dados para embasar as ações de conservação da natureza, através da geoconservação.

Por sua vez, a geoconservação pode ter diversas frentes de atuação, como, por exemplo, o uso de ferramentas tecnológicas, como a fotogrametria, com diferentes aplicações, de forma a facilitar o entendimento do leitor e visitante e fortalecer o geoparque.

É preciso, ainda que toda a estrutura do geoparque seja incrementada e que os sítios a serem efetivamente trabalhados na proposta de reconhecimento internacional do território estejam legalmente protegidos, estando eles em áreas privadas ou públicas, fator essencialmente de análise pela UNESCO para inclusão de novas propostas no Programa de Geoparques.

Ainda que a sinalização seja precária, que os projetos de educação estejam ainda mais restritos a um único município, além de evidentes deficiências orçamentárias, o Geoparque Seridó caminha na direção correta de estabelecimento concreto e duradouro de suas ações, que podem ser beneficiadas com os resultados aqui apresentados e discutidos.

7. CONCLUSÕES

A geodiversidade representa o conjunto de todos os elementos abióticos que compõem a diversidade natural do planeta, assim, minerais, rochas, fósseis, relevo, solos, recursos hidrológicos, entre outros, passam a compor um importante componente do meio ambiente, de forma paralela à biodiversidade, sendo também considerada a base para a vida na Terra.

O estabelecimento do conceito de geodiversidade teve o propósito de gerar discussões e aumentar a compreensão das comunidades científica e leiga sobre a necessidade de se proteger os principais elementos que sustentam os processos e o equilíbrio natural.

Para isso, ocorre a definição de valores e a avaliação de quais lugares ou elementos dentro do contexto geral da geodiversidade precisam ser protegidos ou geridos de forma mais sustentável.

Com este entendimento, se estabelece o conceito de patrimônio geológico, que possui diversos subtipos, a depender de seu conteúdo principal, a saber: espeleológico, no caso de cavernas; estratigráfico, no caso de lugares com importante exemplo de sucessão de estratos-tipo; mineralógico; pedológico; geomorfológico; entre outros.

Os lugares que são compreendidos como patrimônio geológico passam a ter fundamental interesse em ações de conservação. Atividades neste sentido que tem como foco a proteção do patrimônio geológico ou a educação ambiental através da geodiversidade compõem a geoconservação.

Neste sentido, uma das ações mais amplamente divulgadas e realizadas em todo o mundo é a definição de áreas para implementação de geoparques, compreendidos como territórios com limites definidos nos quais ocorrem notáveis patrimônios geológicos, de relevância local, nacional ou internacional, e no quais as comunidades do entorno estão amplamente integradas com o ambiente e com a sua proteção.

Neste trabalho, apresentou-se a proposta de definição de 17 geossítios na área do Geoparque Seridó. A partir do inventário feito anteriormente por Nascimento & Ferreira (2012) e Medeiros (2015), fez-se a supressão do Geossítio Mirante Santa Rita, pela dificuldade em realizar visita e pela pouca representatividade do local. Adicionou-se o Geossítio Tanque dos Poscianos, posicionado sobre a Serra de Santana, e fez-se a divisão do Geossítio Pico do Totoró em dois: Pico do Totoró e Lagoa do Santo, isto devido à dimensão areal e complexidade do geossítio original.

Em trabalhos de geoconservação, é preciso haver base científica que justifique a necessidade de proteção dos lugares, uma vez que é impossível impedir o uso dos recursos

naturais, assim como também é preciso indicar formas de uso sustentável da geodiversidade. Essas informações são obtidas através de processos de avaliação dos elementos abióticos, de forma qualitativa e quantitativa, afim de elencar pontos importantes e os principais locais a serem conservados, assim como é amplamente realizado nas pesquisas da biodiversidade.

Nas últimas duas décadas, os estudos de avaliação da natureza têm sido desenvolvidos sob a ótica dos serviços ecossistêmicos, definidos como os bens e processos disponibilizados pelo meio ambiente para o bem-estar das sociedades humanas e para o estabelecimento e manutenção do equilíbrio dos processos naturais.

Apesar de compreender as razões da conceituação dos chamados serviços geossistêmicos, a separação dos elementos abióticos do ecossistema poderá apenas aumentar a discrepância entre o estado atual da divulgação e conservação da biodiversidade e da geodiversidade.

O desenvolvimento de uma unidade nos estudos da conservação da diversidade natural, integrando numa única terminologia os serviços da natureza fornecidos tanto por seus elementos abióticos como bióticos, parece ser a solução mais adequada.

É fundamental frisar que os sistemas de valoração propostos até o momento e em vigor nos estudos especializados, não possuem esta característica de unidade avaliativa. Será necessária a proposição de novos modelos que abranjam igualmente os elementos abióticos e bióticos no processo de definição dos serviços ecossistêmicos da natureza.

O termo serviços ecossistêmicos, apesar de ter sido definido inicialmente para os estudos da biodiversidade, possui, em sua essência, possibilidade de aplicação nos estudos abióticos, necessitando, porém, algumas adaptações para que o modelo seja usado numa avaliação mais ampla, de forma a valorar a participação da geodiversidade na diversificação do meio ambiente, como base essencial para a vida. Assim, é importante que haja uma maior divulgação conceitual e prática da geodiversidade, indicando sua participação no estabelecimento dos serviços ecossistêmicos da natureza.

Como componente da diversidade natural do planeta, a geodiversidade também tem sido avaliada qualitativamente no contexto dos serviços ecossistêmicos, a partir dos quais pode-se identificar a importância dos elementos abióticos para o meio ambiente e para o ser humano.

Esta pesquisa procedeu à avaliação qualitativa da geodiversidade no Geoparque Seridó de forma a observar os serviços ecossistêmicos possíveis de serem identificados nos geossítios. Para isto, utilizou-se a metodologia proposta no trabalho de Gray (2013), que define os serviços

de conhecimento, cultural, provisão, regulação e suporte, além do valor intrínseco, ou valor de existência.

Durante a avaliação qualitativa, pode-se identificar todos os serviços ecossistêmicos no Geoparque Seridó, dos 25 bens e processos definidos no método, 19 foram também observados.

Em todos os geossítios foram identificados os serviços de conhecimento, cultural e de suporte, o que indica a importância científica da geodiversidade na região, assim como a intrínseca relação das comunidades com o ambiente em seu entorno e a fundamental importância dos elementos abióticos como base para o estabelecimento, reprodução e desenvolvimento da biodiversidade em geral, as comunidades humanas incluídas nesta compreensão.

Sete geossítios possuem todos os serviços: Serra Verde, Lagoa do Santo, Pico do Totoró, Açude Gargalheiras, Poço do Arroz, Marmitas do Rio Carnaúba e Açude Boqueirão. São, portanto, os mais completos na disponibilização de bens e processos abióticos.

Entretanto, todos os geossítios do Geoparque Seridó possuem serviços importantes e são exemplos interessantes da relação dos elementos da geodiversidade com toda a diversidade natural do planeta e com as comunidades de seu entorno.

Algo que reforça isso são os valores quantitativos analisados neste trabalho, que utilizou dois métodos de geoprocessamento, com pouca influência do avaliador, para definir índices numéricos que representem, no contexto do geoparque, os lugares que possuem destaque em relação à média.

Os dois métodos, apesar de suas diferenças, apresentaram resultados bastante semelhantes, o que permite indicar a plausibilidade de aplicação dos dois na avaliação da geodiversidade.

Também se observou uma boa correlação dos índices intermediários a elevados com os geossítios inventariados do Geoparque Seridó trabalhos nesta pesquisa. Isto demonstra que os lugares de interesse geológico envolvidos pelo projeto são bons representantes da geodiversidade local e estão relacionados com as principais ocorrências da região, o que favorece o embasamento teórico de sustentação da necessidade de geoconservação destes lugares.

Pode-se afirmar, com os resultados obtidos, que apenas uma região, a centro-leste, da área, não possui ainda representatividade através de geossítio no geoparque. Por isso, indicou-se nesta pesquisa a necessidade de estabelecer um 18º geossítio nesta localidade, o que irá

permitir a correlação de todos os lugares de índices de geodiversidade acima da média no contexto do Geoparque Seridó.

A partir das avaliações qualitativas e quantitativas realizadas neste trabalho, pode-se afirmar que os geossítios inventariados representam, de forma bastante satisfatória, a diversidade abiótica do Seridó potiguar, que é reconhecidamente vasto, complexo e interessante.

Dessa forma, surgem as necessidades de conservar estes locais que já enfrentam ameaças à sua integridade, por ações antrópicas ou naturais. A geoconservação dos geossítios e de outros locais em que a geodiversidade sofra alterações passa, primeiramente, pelo trabalho de educação, uma vez que a falta de conhecimento é, certamente, a maior ameaça à natureza em todo o planeta. Ainda, a existência de geossítios em propriedades privadas também reforça a necessidade de educação ambiental com os proprietários, para que estes possam permitir a conservação dos locais, além da visitação e uso sustentável deles.

Pode ser empregada como ferramenta útil ao processo de geoconservação o uso de geotecnologias que transformem a linguagem das geociências em uma forma mais lúdica, a exemplo do que foi feito neste trabalho com o Geossítio Morro do Cruzeiro, onde a aplicação da técnica da fotogrametria permitiu a geração de modelos tridimensionais digitais e físicos com vasta gama de usos, seja na educação formal ou na criação de novos produtos de divulgação do Geoparque Seridó.

Comprovou-se neste trabalho a singularidade da geodiversidade do Geoparque Seridó, expressa pelos serviços ecossistêmicos identificados e pelos valores quantitativos de riqueza de geodiversidade atribuídos aos geossítios inventariados.

Portanto, para proteger esse patrimônio singular, é necessário que ações de geoconservação, embasadas nas premissas e afirmativas aqui descritas passem a ser mais fortemente implementadas e que a divulgação do geoparque e das geociências siga o propósito de uso sustentável dos recursos naturais, permitindo a conservação da natureza abiótica e o desenvolvimento das comunidades de seu entorno.

Assim, o conjunto formado pelo modelamento não apenas das paisagens locais, mas de toda a diversidade natural da região, com o reconhecimento próprio do seridoense com sua terra, pode permitir a proteção do meio ambiente.

8. RECOMENDAÇÕES

A partir de todos os resultados, discussões e conclusões apresentadas neste trabalho, são elencadas algumas recomendações referentes aos dados, métodos e estado atual de conservação da geodiversidade do Geoparque Seridó.

Primeiramente, é necessária a realização de trabalhos de mapeamento em escala de detalhe na região, sobretudo referente à geologia e hidrografia local. As escalas disponíveis atualmente em dados que cubram toda a área não são superiores a 250.000, o que dificulta a aplicação de métodos quantitativos de avaliação da geodiversidade.

Segundo, precisa-se definir novos geossítios que representem áreas de geodiversidade alta que ainda não possuem locais no inventário do Geoparque Seridó. Com a efetivação da retirada do Geossítio Mirante de Santa Rita, precisa-se definir novo local que tenha uma boa representatividade da Formação Serra do Martins.

Terceiro, não há sinalização disponível nos geossítios com informações geológicas relevantes. Portanto, recomenda-se o desenvolvimento e instalação de painéis nos 17 geossítios assinalados neste trabalho.

Por último, recomenda-se novos estudos, em continuidade aos desenvolvidos neste trabalho de forma a avaliar os serviços ecossistêmicos disponibilizados pela geodiversidade em toda a área do Geoparque Seridó, além dos já identificados nos geossítios avaliados, integrando, nesta futura avaliação a biodiversidade aos estudos da natureza, valorando qualitativamente a totalidade da diversidade natural na região.

REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. *In: SBG, Simp. Geol. Nordeste, 8, Atas*, p. 363-391.
- Andrade D.C. & Romeiro A.R. 2009. *Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma "Economia dos Ecossistemas"*. Campinas, IE/UNICAMP, Texto para Discussão, n. 159, 23p.
- Angelim L.A.A., Nesi J.R., Torres H.H.F., Medeiros V.C., Santos C.A., Veiga Jr J.P., Mendes V.A. 2006. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000*. CPRM, Recife, 119p.
- Araújo A.M. & Pereira D.I. 2016. Mapeamento do Potencial dos Recursos Hídricos e da Geodiversidade do Estado do Ceará (Brasil) com base em SIG. *Comun. Geol.*, **103**(1): 99-105.
- Archanjo C.J., Viegas L.G.F., Hollanda M.H.B.M., Souza L.C., Liu D. 2013. Timing of the HT/LP transpression in the Neoproterozoic Seridó Belt (Borborema Province, Brazil): Constraints from U/Pb (SHRIMP) geochronology and implications for the connections between NE Brazil and West Africa. *Gond. Res.*, **23**: 701-714.
- Azevedo S.A.K. & Carvalho L.B. 2009. O Uso da Tomografia Computadorizada no Estudo de Vertebrados Fósseis no Museu Nacional/UFRJ. *In: Werner Jr H. & Lopes J. (eds.) Tecnologias 3D*. Rio de Janeiro, Revinter, p.: 1-32.
- Balmford A., Brunner A., Cooper P., Costanza R., Farber S., Green R.E., Jenkins M., Jefferiss P., Jassamy V., Madden J., Munro K., Myers N., Naeem S., Paavola J., Rayment M., Rosendo S., Roughgarden J., Trumper K., Turner R. L. 2002. Economic Reasons for Conserving Wild Nature. *Sci.*, **297**: 950-953.
- Baumgartner R., Romer R.L., Moritz R., Sallet R., Chiaradia M. 2006. Columbite-Tantalite-Bearing Granitic Pegmatites from the Seridó Belt, Northeastern Brazil: Genetic Constraints from U-Pb Dating and Pb Isotopes. *The Can. Min.*, **44**: 69-86.
- Borba A.W., Teixeira K.M., Ferreira P.F., Ferreira P.F. 2015. Concepções de professores de ciências naturais de Caçapava do Sul (RS, Brasil) sobre geologia local: subsídios à educação geopatrimonial. *Ter. Didat.*, **11**(2): 117-124.
- Brilha J. 2005. *Património Geológico e Geoconservação*. Palimage, Braga, 190 pp.
- Brilha J. 2009. A Importância dos Geoparques no Ensino e Divulgação das Geociências. *Geol. USP*, **5**: 27-33.

- Brilha J. 2016. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoher.*, **8**(2): 119-134.
- Brilha J., Gray M., Pereira D.I., Pereira P. 2018. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environ. Sci. and Pol.*, **86**: 19-28.
- Brocx M. & Semeniuk V. 2007. Geoheritage and geoconservation – history, definition, scope and scale. *Jour. of the Roy. Soc. of West. Aust.*, **90**: 53-87
- Burek C.V. & Prosser C.D. 2008. The history of geoconservation: an introduction. In: Burek C.V. & Prosser C.D. (eds). *The history of Geoconservation*. London, The Geological Society, p.: 1-5.
- Carcavilla L., Díez-Herrero A., Vegas J. 2017. Monitorización en Cascadas y Saltos de Agua para la Valoración de su “Espectacularidad o Belleza” y sus Implicaciones para su Uso Público. El Caso de la Chorreira de los Navalucillos. In: Carcavilla L., Duque-Macías J., Giménez J., Hilario A., Monge-Ganuzas M., Vegas J., Rodríguez A. *Patrimonio Geológico, Gestionando la Parte Abiótica del Patrimonio Natural*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, p.: 149-154.
- Cayla N. 2014. An Overview of New Technologies Applied to the Management of Geoheritage. *Geoher.*, **6**(2): 91-102.
- Chakraborty A., Cooper M., Chakraborty S. 2014. Geosystems as a Framework for Geoconservation: the Case of Japan’s Izu Peninsula Geopark. *Geoher.*, **7**(4): 351-363.
- Coelho L. & Brito J.N. 2007. *Fotogrametria Digital*. Rio de Janeiro, EDUERJ, 196 pp.
- Costa R.C. 2008. Pagamento por serviços ambientais: limites e oportunidades para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar na Amazônia Brasileira. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, 246 p.
- Costa A.P., Nascimento M.A.L., Galindo A.C., Dantas A.R. 2015. Geologia, petrologia e geocronologia U-Pb do Plúton Granítico Serra da Rajada: implicações sobre a evolução magmática ediacarana na porção NE do Domínio Rio Piranhas-Seridó (NE da Província Borborema). *Geol. USP*, **15**(3-4): 83-105.
- Costanza R., d’Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O’Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Belt M.V.D. 1997. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nat.*, **387**: 253-260.
- Costanza R., de Groot R., Sutton P., Ploeg S.V.D., Anderson S.J., Kubiszewski I., Farber S., Turner R.K. 2014. Change in the global value of ecosystem services. *Glob. Environ. Chan.*, **26**: 152-158.
- Daily G.C. 1997. Introduction: What are Ecosystem Services? In: Daily G.C. (ed.) *Nature’s Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, p.: 1-10.

- Delgado I.M., Souza J.D., Silva L.C., Silveira Filho N.C., Santos R.G., Pedreira A.J., Guimarães J.T., Angelim L.A.A., Vasconcelos A.M., Gomes I.P., Lacerda Filho J.V., Valente C.R., Perrotta M.M., Heineck C.A. 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. *In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (eds.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.* Rio de Janeiro, CPRM, p.: 227-334.
- Díaz-Martínez E. & Fernández-Martínez E. 2015. El Valor del Patrimonio Geológico: 1, Fundamentos y Significado. *In: Hilario A., Mendiá M., Monge-Ganuzas M., Fernández E., Vegas J., Belmonte A. Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos.* Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, p.: 13-18.
- Diniz M.T.M. & Oliveira G.P. 2015. Compartimentação e Caracterização das Unidades de Paisagem do Seridó Potiguar. *Braz. Geograp. Jour.*, **6**(1): 291-318.
- Diniz M.T.M., Oliveira G.P., Maia R.P., Ferreira B. 2017. Mapeamento Geomorfológico do Rio Grande do Norte. *Rev. Bras. Geom.*, **18**(4): 689-701.
- Dowling R. & Newsome D. 2010. Geotourism: a Global Activity. *In: Dowling R. & Newsome D. (eds.). Global Geotourism: Perspectives.* Oxford, Goodfellow Publishers Limited, p.: 1-17.
- Egoh B., Rouget M., Reyers B., Knight A.T., Cowling R.M., Jaarsveld A.S.V., Welz A. 2007. Integrating ecosystem services into conservation assessments: A review. *Ecol. Econ.*, **63**: 714-721.
- Ehrlich P.R. & Mooney H. A. 1983. Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. *BioSci.*, **33**(4):248-254.
- English Nature 2002. *Revealing the value of nature.* W Lake, Birmingham, 38 pp.
- Farber S.C., Costanza R., Wilson M.A. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecol. Econ.*, **41**: 375-392.
- Farias D.J.S., Guimarães I.P., Yadav R. 2011. Caracterização Geoquímica e Geocronologia das Rochas Graníticas no Extremo Leste da Zona de Cisalhamento Cruzeiro do Nordeste. *In: SBGQ, Cong. Bras. Geol.*, 13, *Anais*, p. 733-736.
- Feeley H.B., Bruen M., Bullock C., Christie M., Kelly F., Remoundou K., Siwicka E., Kelly-Quinn M. 2014. *ESManage Project: Freshwater Ecosystem Services - An Introduction for Stakeholders.* Wexford, Environmental Protection Agency, Report No. 208, 18p.
- Fisher B., Turner R.K., Morling P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecol. Econ.*, **68**: 643-653.
- Forte J.P., Brilha J. Pereira D.I., Nolasco M. 2018. Kernel Density Applied to the Quantitative Assessment of Geodiversity. *Geoher.*, **10**(2): 205-217.

- García-Cortés A. 1996. Inventario del Patrimonio Geológico. In: MOPTMA (ed). *El patrimonio geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, p.: 53-60.
- Gómez-Baggethun E., de Groot R., Lomas P. L., Montes C. 2010. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecol. Econ.*, **69**: 1209-1218.
- Gordon J.E, Barron H.F., Hansom J.D., Thomas M.F. 2012. Engaging with geodiversity—why it matters. *Proceed. of the Geol. Assoc.*, **123**: 1-6.
- Gordon J.E. & Barron H.F. 2013. The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland. *Scot. Jour. of Geol.*, **49**(1): 41-58.
- Gray M. 2004. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 1ª edição. Chichester, John Wiley & Sons, 434 pp.
- Gray M. 2008. Geodiversity: developing the paradigm. *Proceed. of the Geol. Assoc.*, **119**(3-4): 287-298.
- Gray M. 2011. Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environ. Conser.*, **38**(3): 271-274.
- Gray, M. 2013. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 2ª edição. Chichester, John Wiley & Sons, 495 pp.
- Guerry A.D., Polasky S., Lubchenco J., Chaplin-Kramer R., Daily G.C., Griffin R., Ruckelshaus M., Bateman I.J., Duraiappah A., Elmqvist T., Feldman M.W., Folke C., Hoekstra J., Kareiva P.M., Keeler B.L., Li S., McKenzie E., Ouyang Z., Reyers B., Ricketts T.H., Rockström J., Tallis H., Vira B. 2015. Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceed. of the Nat. Acad. of Scie. of the Unit. St. of Ame.*, **112**(24): 7348-7355.
- Guimarães G.B. & Liccardo A. 2014. Geodiversidade, Patrimônio Geológico e Educação. In: Liccardo A. & Guimarães G.B. (eds) *Geodiversidade na Educação*. Ponta Grossa, Estúdio Texto, p.: 23-26.
- Hjort J., Gordon J.E., Gray M., Hunter Jr M.L. 2015. Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conser. Biol.*, **29**(3): 630-639.
- Hollanda M.H.B.M., Souza Neto J.A., Archanjo C.J., Stein H., Maia A.C.S. 2017. Age of the granitic magmatism and the W-Mo mineralization in skarns of the Seridó belt (NE Brazil) based on zircon U-Pb (SHRIMP) and molybdenite Re-Os dating. *Jour. of Sou. Amer. Ear. Sci.*, **79**: 1-11.
- Hopwood B., Mellor M., O'Brien G. 2005. Sustainable development: mapping different approaches. *Sust. Devel.*, **13**(1): 38-52.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Brasil em Síntese. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acessado em 19 jul 2018.
- IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2009. *Atlas para a Promoção do Investimento Sustentável no Rio Grande do Norte*. Natal, Opção Gráfica Editora, 186 pp.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acessado em 19 jul 2018.
- Jačková K. & Romportl D. 2008. The Relationship Between Geodiversity and Habitat Richness in Sumava National Park and Krivoklatsko Pla (Czech Republic): a Quantitative Analysis Approach. *Jour. of Lands. Ecol.*, **1**(1): 23-38.
- 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 de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 803 p.
- Jones C. 2008. History of Geoparks. In: Burek C.V. & Prosser C.D. (eds). *The history of Geoconservation*. London, The Geological Society, p.: 273-278.
- Kot R. 2014. The Point Bonitation Method for Evaluating Geodiversity: a Guide with Examples (Polish Lowland). *Geog. Ann.*, **97**(2): 375-393.
- Kozłowski S. 2004. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Prz. Geol.*, **52**(8): 833-837.
- La Notte A., D'Amato D., Mäkinen H., Paracchini M.L., Liqueste C., Egoh B., Geneletti D., Crossman N.D. 2017. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecol. Ind.*, **74**: 392-402.
- Lele S., Springate-Baginski O., Lakerveld R., Deb D., Dash P. 2013. Ecosystem Services: Origins, Contributions, Pitfalls, and Alternatives. *Cons. and Soc.*, **11**(4): 343-358.
- Lima M.G. 2008. A História do Intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: Implicações Paleoclimáticas e Tectônicas. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 251 p.
- Mansur K.L. 2010. Diretrizes para Geoconservação do Patrimônio Geológico do Estado do Rio de Janeiro: o caso do Domínio Tectônico Cabo Frio. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 214 p.

- Mansur K.L., Ponciano L.C.M.O, Castro A.R.S.F. 2017. Contributions to a Brazilian Code of Conduct for Fieldwork in Geology: an approach based on Geoconservation and Geoethics. *An. Acad. Bras. De Cien.*, **89**(1 Suppl.): 431-444.
- McDonough K., Hutchinson S., Moore T., Hutchinson J.M.S. 2017. Analysis of publication trends in ecosystem services research. *Ecos. Serv.*, **25**: 82-88.
- Medeiros V.C. 2008. Contexto Geológico Regional. In: Medeiros V.C. & Dantas E.P. (org.). *Geologia e Recursos Minerais da Folha Sousa SB.24-Z-A, Escala 1:250.000*. Brasília, CPRM, p.:23-25.
- Medeiros V.C., Nascimento M.A.L., Galindo A.C., Dantas E.L. 2012. Augen gnaisses riacianos no Domínio Rio Piranhas-Seridó – Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Geol. USP*, **12**(2): 3-14.
- Medeiros V.C. & Nascimento M.A.L. 2015. Contexto Geológico Regional. In: Medeiros V.C. & Dantas E.P. (org.). *Geologia e Recursos Minerais da Folha Currais Novos*. Recife, CPRM, p.:25-28.
- Medeiros J.L. 2015. Práticas Turísticas em Geossítios: Uma Avaliação Ambiental no Projeto Geoparque Seridó – RN. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Turismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 167 p.
- Melelli L. 2014. Geodiversity: a New Quantitative Index for Natural Protected Areas Enhancement. *GeoJour. of Tour. And Geos.*, **13**(1): 27-37.
- Menezes M.R.F. 1999. Estudos Sedimentológicos e o Contexto Estrutural da Formação Serra do Martins, nos Platôs de Portalegre, Martins e Santana / RN. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 174 p.
- Meunier A. 1964. Succession stratigraphique et passages latéraux dus au métamorphisme dans la série Ceará, Antécambrien du Nord-Est brésilien. *C. R. Acad. Sc. Paris*, **259**: 3796-3799.
- Millenium Ecosystem Assessment 2003. MA Conceptual Framework. In: Millenium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*, Island Press, p.: 1-25.
- Mooney H.A. & Ehrlich P.R. 1997. Ecosystem Services: a fragmentary history. In: Daily G.C. (ed.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, p.: 11-19.
- Moreira J.C. 2008. Patrimônio Geológico em Unidades de Conservação: Atividades Interpretativas, Educativas e Geoturísticas. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 428 p.

- Nascimento M.A.L., Schobbenhaus C., Medina A.I.M. 2008a. Patrimônio Geológico: Turismo Sustentável. In: Silva C.R. (ed.) *Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presentes e prever o futuro*. Rio de Janeiro, CPRM, p.:147-162.
- Nascimento M.A.L., Ruchkus U.A., Mantesso-Neto V. 2008b. Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: Trinômica Importante para a Proteção do Patrimônio Geológico. Natal, SBG, 84 pp.
- Nascimento M.A.L. & Ferreira R.V. 2012. Geoparque Seridó (RN): proposta. In: Schobbenhaus C. & Silva C.R. (org.) 2012. *Geoparques do Brasil: propostas – Volume 1*. Rio de Janeiro, CPRM, p.: 361-416.
- Nascimento M.A.L., Galindo A.C., Medeiros V.C. 2015a. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. *Jour. of Sou. Amer. Ear. Sci.*, **58**: 281-299.
- Nascimento M.A.L., Gomes C.S.D., Soares A.S. 2015b. Geoparque como forma de gestão territorial interdisciplinar apoiada no geoturismo: caso do Projeto Geoparque Seridó. *Rev. Bras. de Ecot.*, **8**(2): 347-364.
- Naves J.G.P. & Bernardes M.B.J. 2014. A relação histórica homem/natureza e sua importância no enfrentamento da questão ambiental. *Geos.*, **29**(57): 7-26.
- Neves S.P. 2003. Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): Correlations with neighboring cratons and Pan-African belt sand implications for the evolution of western Gondwana. *Tect.*, **22**(4): 10-31.
- Pereira D.I., Pereira P., Brilha J., Santos L. 2013. Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. *Environ. Manag.*, **52**: 541-552.
- Ponciano L.C.M., Castro A.R.S.F., Machado D.M.C., Fonseca V.M.M., Kunzler J. 2011. Patrimônio Geológico-Paleontológico In Situ e Ex Situ: Definições, Vantagens, Desvantagens e Estratégias de Conservação. In: Carvalho I.S., Srivastava N.K., Strohschoen O., Lana, C.C. *Paleontologia: Cenários de Vida – Vol. 4*, Interciência, 853-869.
- Potschin M.B. & Haines-Young R.H. 2011. Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. *Prog. in Phys. Geog.*, **35**(5): 575-594.
- ProGEO – The European Association for the Conservation of the Geological Heritage. 2011. Conserving our Shared Geoheritage – A Protocol on Geoconservation Principles, Sustainable Site Use, Management, Fieldwork, Fossil and Mineral Collecting. Disponível em: <http://www.progeo.se/progeo-protocol-definitions-20110915.pdf>. Acessado em 8 jun 2018.
- Prosser C.D. 2013. Our rich and varied geoconservation portfolio: the foundation for the future. *Proceed. of the Geol. Assoc.*, **124**(4) 568-580.

- Raufflet E., Bres L., Filion L.J. 2014. Desenvolvimento Sustentável e Empreendedorismo. *Rev. de Empr. e Gest. de Peq. Emp.*, **3**(1): 3-32.
- Ravanel R., Bodin X., Deline P. 2014. Using Terrestrial Laser Scanning for the Recognition and Promotion of High-Alpine Geomorphosites. *Geoher.*, **6**(2): 129-140.
- Reynard E., Fontana G., Kozlik L., Scapozza C. 2007. A method for assessing «scientific» and «additional values» of geomorphosites. *Geogr. Helv.*, **62**: 148-158.
- Ruban D.A. 2010. Quantification of geodiversity and its loss. *Proceed. of the Geol. Assoc.*, **121**: 326-333.
- Ruppert J. & Duncan R.G. 2017. Defining and Characterizing Ecosystem Services for Education: A Delphi Study. *Jour. of Res. in Scie. Teach.*, **54**(6): 737-763.
- Sá J.M., Galindo A.C., Legrand J.M., Souza L.C., Maia H.N. 2014. Os Granitos Ediacaranos no Contexto dos Terrenos Jaguaribeano e Rio Piranhas-Seridó no Oeste do RN, Província Borborema. *Est. Geol.*, **24**(1): 3-22.
- Santori A. 2017. *Geoparque Seridó: Literatura de Cordel*. Currais Novos, Edição do Autor, 4 pp.
- Santos J. 1996. Ensaio Preliminar sobre Terrenos e Tectônica Acrescionária na Província Borborema. *In: SBG, Cong. Bras. Geol.*, 39, *Anais*, p.: 47-50.
- Santos L.C.M.L., Vieira F.F., Moura E.N., Genuíno V.A., Sales E.D.G. 2016. Síntese das Principais Ocorrências Mineraias de Pegmatitos no Seridó (PB-RN). *In: CETEM, Sim. Min. Ind. do Nordeste*, 4, *Anais*.
- Santos I. O. 2017. Novas Metodologias para Representação Geoespacial e Valorização dos Elementos da Geodiversidade: Integração de Geotecnologias, Recursos Online e Realidade Aumentada. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 268 p.
- Santos D.S., Mansur K.L., Gonçalves J.B., Arruda Junior E.R., Manosso F.C. 2017. Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. *App. Geog.*, **85**: 184-195.
- Schobbenhaus C. & Brito Neves B.B. 2003. A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana. *In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (eds.). Geologia, tectônica e recursos mineraias do Brasil: texto, mapas & SIG*. Rio de Janeiro, CPRM, p.: 5-25.
- Schobbenhaus C. & Silva C.R. (org.) 2012. *Geoparques do Brasil: propostas – Volume 1*. Rio de Janeiro, CPRM, 748 pp.

- Serrano E. & Ruiz-Flaño P. 2007. Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geogr. Helv.*, **62**: 140-147.
- Sharples C. 1993. *A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purpose*. Tasmania, Forestry Commission, 31 pp.
- Sharples C. 2002. Concepts and Principles of Geoconservation. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation. Acessado em 17 mai 2018.
- Silva J.P., Pereira D.I., Aguiar A.M., Rodrigues C. 2013. Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin. *Jour. of Maps*, **9**(2): 254-262.
- Silva J.P., Rodrigues C., Pereira D.I. 2015. Mapping and Analysis of Geodiversity Indices in the Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. *Geoher.* **7**(4): 337-350.
- Silva M.L.N. 2016. Geodiversidade da Cidade do Natal: Valores, Classificações e Ameaças. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 170 p.
- Silva M.L.N., Nascimento M.A.L., Mansur K.L. 2017. Serviços Ecológicos da Geodiversidade como Forma de Definição de Roteiros no Geoparque Seridó. *In: GUPE, Simp. Bras. de Patr. Geol.*, **4**, *Anais*, p.: 382-386.
- Silveira F.V. 2006. Magmatismo Cenozóico da Porção Central do Rio Grande do Norte, NE do Brasil. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 195 p.
- Souza Z.S., Martin H., Peucat J.J., Jardim de Sá E.F., Macedo M.H.F. 2007. Calc-Alkaline Magmatism at the Archean-Proterozoic Transition: the Caicó Complex Basement (NE Brazil). *Jour. of Petrol.*, **48**(11): 2149-2185.
- Souza Z.S., Kalsbeek F., Deng X.D., Frei R., Kokfelt T.F., Dantas E.L., Li J.W., Pimentel M.M., Galindo A.C. 2016. Generation of continental crust in the northern part of the Borborema Province, northeastern Brazil, from Archaean to Neoproterozoic. *Jour. of Sou. Amer. Ear. Sci.*, **68**: 68-96.
- Stanley M. 2003. Geodiversity: our foundation. *Geol. Tod.*, **19**(3): 104-107.
- Tavares A.O., Henriques M.H., Domingos A. Bala A. 2015. Community Involvement in Geoconservation: A Conceptual Approach Based on the Geoheritage of South Angola. *Sustain.*, **7**: 4893-4918.
- Torab M. & Farghaly E. 2015. Geodiversity assessment of the Sinai Peninsula, Egypt. *In: EGU, EGU Gen. Ass.*, **17**, *Abstracts*.

- UNESCO. 2016. *UNESCO Global Geoparks: Celebrating Earth Heritage, Sustaining local Communities*. Paris, UNESCO, 17 pp.
- Unger N.M. 2006. Os Pré-Socráticos: os pensadores originários e o brilho do ser. In: Carvalho I.C.M., Grün M., Trajber R. (org.) *Pensar o Ambiente: bases filosóficas para a Educação Ambiental*. Ministério da Educação, p. 25-31.
- Van Ree C.C.D.F. & Van Beukering P.J.H. 2016. Geosystem services: a concept in support of sustainable development of the subsurface. *Ecos. Serv.*, **20**: 30-36.
- Van Schmus W.R., Brito Neves B.B., Williams I.S., Hackspacher P.C., Fetter A.H., Dantas E.L., Babinski M. 2003. The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U–Pb detrital zircon ages and Sm–Nd crustal residence (T_{DM}) ages. *Precamb. Resear.*, **127**: 287-327.
- Von Haaren C. & Albert C. 2011. Integrating ecosystem services and environmental planning: limitations and synergies. *Int. Jour. of Bio. Sci., Ecos. Serv. & Manag.*, **7**(3): 150-167.
- Washington H. 2018. The intrinsic value of geodiversity. *The Ecol. Cit.*, **1**: 137.
- Westman W.E. 1977. How Much Are Nature's Services Worth? *Scie.*, **197**: 960-964.