



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**PÂMELLA MOURA**

**GEOCONSERVAÇÃO NO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, NORDESTE DO BRASIL:  
MÉTODOS PARA SELEÇÃO, PROTEÇÃO E USO DOS SÍTIOS GEOLÓGICOS**

**FORTALEZA**

**2018**

PÂMELLA MOURA

GEOCONSERVAÇÃO NO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, NORDESTE DO BRASIL:  
MÉTODOS PARA SELEÇÃO, PROTEÇÃO E USO DOS SÍTIOS GEOLÓGICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Motta Garcia

Coorientador: Prof. Dr. José B. R. Brilha

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M889g Moura, Pâmella.  
Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil : Métodos para seleção, proteção e uso dos sítios geológicos / Pâmella Moura. – 2018.  
206 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Profa. Dra. Maria da Glória Motta Garcia.  
Coorientação: Prof. Dr. José Brilha.
1. Patrimônio Geológico. 2. Geossítios. 3. Sítios da Geodiversidade. 4. Província Borborema. 5. Conservação da Natureza. I. Título.

CDD 551

---

PÂMELLA MOURA

GEOCONSERVAÇÃO NO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, NORDESTE DO BRASIL:  
MÉTODOS PARA SELEÇÃO, PROTEÇÃO E USO DOS SÍTIOS GEOLÓGICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Maria da Glória Motta Garcia (Orientadora)  
Universidade de São Paulo (USP)

---

Profa. Dra. Kátia Leite Mansur  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

---

Prof. Dr. Marcos Antonio Leite do Nascimento  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

---

Prof. Dr. Ricardo Galeno Fraga de Araújo Pereira  
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

---

Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Célia e Kilson,  
e para aqueles que acreditam no poder  
transformador da educação.

## AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo incentivo e compreensão. Obrigada por tudo.

A Daniel, pelo companheirismo e incentivo. Obrigada por todo afeto e dedicação, sempre.

A Professora Glória, pela orientação, paciência e companhia. Muito obrigada pela oportunidade, confiança e por todo aprendizado nesta jornada.

Ao Professor José Brilha, por compartilhar a experiência e conhecimento em patrimônio geológico e por tão gentilmente me receber na Universidade do Minho durante o período de estágio sanduíche.

Aos professores participantes da banca examinadora, Profa. Kátia Mansur, Prof. Marcos Nascimento, Prof. Ricardo Pereira e Prof. César Veríssimo, pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos pesquisadores que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do inventário, com indicações de sítios geológicos e discussões sobre as categorias temáticas, especialmente membros do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, do Instituto de Geociências da Universidade de Campinas e do Serviço Geológico do Brasil, residência de Fortaleza.

Aos professores das diversas disciplinas cumpridas durante o doutoramento, especialmente Prof. Diamantino Pereira da Universidade do Minho e Prof. Rúbson Maia da Universidade Federal do Ceará, pelos valiosos aprendizados.

Aos amigos e companheiros de jornada, especialmente Karla e Lana, pelos inúmeros cafés que construíram esta tese. Obrigada!

Ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará.

Ao Núcleo de Apoio à Pesquisa ao Patrimônio Geológico e Geoturismo – GeoHereditas, da Universidade de São Paulo.

Ao Instituto de Ciências da Terra, da Universidade do Minho, Portugal.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Nessa oportunidade, cabe agradecimento especial pela bolsa de doutorado sanduíche no exterior (PDSE nº 88881.132168/2016-01).

“...ia revendo com carinho as grandes pedras de Quixadá que se destacavam abruptamente sobre a vastidão arranhenta da caatinga, erguendo, céu acima, as enormes escarpas de granito. A luz lhes dava gradações estranhas, desde o cinzento metálico, e um azul da cor do céu, e o outro azul de violeta-pálido, até ao negro do lodo que escorria em grandes listas, sumindo-se nas anfractuosidades, chamalotando as ásperas paredes a pique. Surgiam ao longe, como uma barreira fechada e hostil, os serrotes ligando-se aos serrotes, num alinhamento amontoado.”

Rachel de Queiroz, O Quinze

“É chegado o tempo de aprender a proteger o passado da Terra e aprender a conhecê-lo. Esta memória antecede a memória humana. É um novo patrimônio, escrito muito antes de nosso aparecimento sobre o planeta.”

Declaração Internacional dos Direitos à  
Memória da Terra, 1991

## RESUMO

O Domínio Ceará Central é a maior unidade geotectônica do bloco norte da Província Borborema e tem seu principal evento evolutivo relacionado ao amálgama da porção oeste do supercontinente Gondwana durante o Ciclo Brasileiro/Pan-Africano no Neoproterozoico. Este domínio está inserido no semiárido cearense, região de economia vulnerável e com baixos índices de desenvolvimento socioeconômico. O presente estudo teve por objetivo avaliar estratégias de geoconservação para a porção centro-norte do Domínio com vistas à conservação do patrimônio geológico e uso dos elementos excepcionais da geodiversidade como alternativa para desenvolvimento sustentável. Para tanto, foi utilizado o método de inventário do patrimônio geológico para áreas extensas, com base em categorias geológicas temáticas, seguido pela avaliação do enquadramento legal e avaliação quantitativa de valoração dos sítios geológicos na plataforma *GEOSSIT*, do Serviço Geológico do Brasil. O inventário caracterizou 52 sítios geológicos representativos de oito categorias geológicas temáticas; a avaliação quantitativa os classificou em 44 geossítios e 08 sítios da geodiversidade. Os resultados demonstraram o valor científico dos geossítios, a predominância de risco moderado de degradação e valores medianos para o potencial uso educativo e turístico. Ajustes realizados na avaliação das prioridades do *GEOSSIT* permitiram definir três listas de sítios prioritários para a proteção do valor científico e uso educativo e turístico. Os resultados obtidos também indicaram quatro territórios estratégicos, sendo um selecionado para o plano piloto de geoconservação. Este plano foi direcionado para a região Sertão Central, com 06 novos sítios da geodiversidade inventariados, e apresentou o diagnóstico dos sítios geológicos do território. Com este diagnóstico foi possível definir os locais de uso restrito; identificar os atores sociais; as medidas legais e protetivas necessárias, considerando características de fragilidade e vulnerabilidade; e propor medidas para divulgação e valorização dos sítios geológicos. A partir das potencialidades identificadas no diagnóstico, foram apresentados conteúdos geológicos para dois roteiros temáticos que podem estruturar atividades educativas e o geoturismo no Sertão Central. A síntese das principais etapas de geoconservação estudadas nesta tese foi apresentada na forma de um guia descritivo, a fim de auxiliar o processo de gestão de sítios geológicos. As estratégias de geoconservação aqui apresentadas constituem-se como diretrizes para a conservação do patrimônio geológico e representam alternativas para o fomento do desenvolvimento sustentável no semiárido cearense.

**Palavras-chave:** Patrimônio geológico. Conservação da natureza. Geossítios. Província Borborema. Ceará.



## ABSTRACT

The Ceará Central Domain (CCD) is the most expressive geotectonic unit in the northern block of Borborema Province, northeast Brazil. The amalgamation of West Gondwana supercontinent during the Brazilian/Pan-African Cycle in the Neoproterozoic is the major evolutionary event in the CCD. This area is also characterised by low socioeconomic conditions, partially due to a harsh semiarid climate. In this scenario, this work aimed to build up geoconservation strategies for the central-northern portion of this Domain in order to promote the conservation of geoheritage and the use of exceptional geodiversity elements as sustainable development alternatives. This work was developed by applying a method for geoheritage inventory in large areas based on geological frameworks, legal framework evaluation and quantitative assessment concerning the scientific value, the degradation risk, the educational and touristic potential use and the protection priorities. The quantitative evaluation was performed by the method available in the *GEOSSIT* platform developed by the Brazilian Geological Survey. The inventory resulted in eight geological frameworks represented by 52 geological sites. The quantitative assessment resulted in 44 sites classified as geosites, whereas 8 sites were classified as geodiversity sites. The results indicated sites with high scientific value, the predominance of moderate degradation risk and moderate values for educational and touristic potential use. Adjusting the *GEOSSIT* method, three sorted lists of geological sites were obtained concerning the scientific, educational and tourism protection priority. Herewith, four territories were defined and one of them was selected to a pilot geoconservation management plan. The Sertão Central territory was chosen and then, six new geodiversity sites were inventoried. The diagnosis of geological sites in Sertão Central offered subsidies to define places with restrictions in use, to identify the social actors, to propose protective and legal measures - regarding fragility and vulnerability - and measures for divulgation and valorisation. Two geological routes for geotourism and educational activities were proposed considering the major results from this diagnosis. For guiding the conservation and use of geological sites, a descriptive guide was developed intending for non-specialist managers in geoconservation. The geoconservation strategies here presented constitute guidelines for geoheritage conservation and represent alternatives for promotion of sustainable development in the semiarid region of Ceará.

**Key-words:** Geoheritage. Nature conservation. Geosites. Borborema Province. Ceará.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Compartimentação Tectônica do Estado do Ceará, limites da área de estudo e principais vias de acesso.....	15
Figura 2 -	Unidades Litoestratigráficas do Domínio Ceará Central.....	18
Figura 3 -	Domínios Geomorfológicos do Estado do Ceará.....	19
Figura 4 -	Localização dos municípios e respectivas macrorregiões de planejamento.....	21
Figura 5 -	Serviços, bens e processos direcionados a geodiversidade de acordo com a abordagem dos serviços ecossistêmicos.....	28
Figura 6 -	Enquadramento conceitual da geodiversidade e patrimônio geológico no escopo da geoconservação .....	34
Figura 7 -	Quadro conceitual de valores, ameaças e relações sobre geoturismo.....	37
Figura 8 -	Atividades e geoprodutos em Geoparques Mundiais da UNESCO	39
Figura 9 -	Elementos do Geopark Araripe .....	40
Figura 10 -	Relação entre os elementos conceituais que compõem o plano de conservação do patrimônio geológico para a área de estudo.....	49
Figura 11 -	Municípios do Sertão Central que compõem a área de estudo .....	50
Figura 12 -	Classificação das tipologias dos sítios geológicos do Sertão Central	51
Figura 13 -	Sítios geológicos do Sertão Central e síntese dos resultados da avaliação quantitativa realizada na plataforma <i>GEOSSIT</i> .....	52
Figura 14 -	Diagnóstico para a geoconservação no Sertão Central com vistas ao uso e proteção dos geossítios e sítios de geodiversidade .....	54
Figura 15 -	Exemplos de medidas estruturais para proteção de sítios geológicos	56
Figura 16 -	Exemplos de estruturas para valorização de sítios geológicos .....	57
Figura 17 -	Exemplos de sítios geológicos com e sem medidas estruturais de valorização .....	58
Figura 18 -	Tipos de painéis e placas utilizados para a divulgação do patrimônio geológico .....	58
Figura 19 -	Síntese do potencial turístico dos sítios geológicos do Sertão Central .....	62
Figura 20 -	Potencialidades para o geoturismo no Sertão Central .....	63
Figura 21 -	Unidades litoestratigráficas e sítios geológicos do Sertão Central ...	64

Figura 22 -	Síntese do potencial educativo dos sítios geológicos do Sertão Central .....	66
Figura 23 -	Proposta de roteiro <i>Granitos neoproterozoicos</i> .....	72
Figura 24 -	Centro Histórico de Quixeramobim e geossítio Granada Xisto Quixeramobim.....	73
Figura 25 -	Geossítio Granito Quixeramobim e Pedra da Baleia .....	74
Figura 26 -	Geossítio Campo de Inselbergues de Quixadá .....	75
Figura 27 -	Geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro .....	76
Figura 28 -	Sítios geológicos Gruta de São Francisco de Assis e Gnaisse Milonítico de Quixadá .....	77
Figura 29 -	Sítio de geodiversidade Serra do Urucum .....	78
Figura 30 -	Proposta de roteiro <i>Terrenos pré-cambrianos</i> .....	79
Figura 31-	Elementos culturais e sítios geológicos no município de Pedra Branca .....	80
Figura 32 -	Sítios geológicos no município de Mombaça .....	81
Figura 33 -	Elementos históricos e da geodiversidade do município de Senador Pompeu.....	82
Figura 34 -	Açude Encantado e sítio de geodiversidade Lagoa do Fofô, em Quixeramobim .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Dados socioeconômicos dos municípios da área de estudo.....	22
Tabela 2 -	Categorias tipológicas e suas principais características, de acordo com Fuertes-Gutiérrez e Fernández-Martínez (2010).....	30
Tabela 3 -	Propostas do Projeto Geoparques (CPRM) para o nordeste do Brasil.....	41
Tabela 4 -	Inventários do Patrimônio Geológico realizados na região nordeste do Brasil entre 2007 e 2016 e respectivos índices de desenvolvimento humano municipal (IDHM).....	42
Tabela 5 -	Síntese dos procedimentos adotados e resultados gerais de cada uma das etapas sequencias aplicadas, com base nas etapas de geconservação de Brilha(2005).....	43
Tabela 6 -	Propostas de conservação para os sítios geológicos do Sertão Central cearense .....	60
Tabela 7 -	Propostas de uso educativo dos sítios geológicos do Sertão Central aplicada aos componentes curriculares e conteúdos na educação superior .....	67
Tabela 8 -	Proposta de guia descritivo para gestão de sítios geológicos .....	69
Tabela 9 -	Parâmetros e critérios para avaliação quantitativa do valor científico .....	201
Tabela 10 -	Parâmetros e critérios para avaliação quantitativa do risco de degradação .....	202
Tabela 11 -	Parâmetros e critérios para avaliação quantitativa do potencial uso educativo e turístico .....	203

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Contextualização da área de estudo: O Domínio Ceará Central .....</b>	<b>15</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Aspectos geológicos.....</i>	<i>16</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Aspectos geomorfológicos e ambientais .....</i>	<i>19</i>
<i>1.2.3</i>	<i>Aspectos socioeconômicos .....</i>	<i>20</i>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Geodiversidade .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Patrimônio Geológico .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Geoconservação .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4</b>	<b>Geoturismo.....</b>	<b>35</b>
<b>2.5</b>	<b>Geoparques.....</b>	<b>38</b>
<b>2.6</b>	<b>Considerações sobre a geoconservação no Nordeste do Brasil .....</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Revisão bibliográfica e materiais consultados .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2</b>	<b>Levantamento de dados preliminares .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3</b>	<b>Atividades de campo e avaliação qualitativa dos sítios geológicos .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliação quantitativa e diagnóstico do patrimônio geológico .....</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>CONSERVAÇÃO DE GEOSSÍTIOS COMO INSTRUMENTO PARA A PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO: O INVENTÁRIO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, PROVÍNCIA BORBOREMA, NE/BRASIL .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DE SÍTIOS GEOLÓGICOS PARA GESTÃO PRIORITÁRIA: PROPOSTAS PARA A GEOCONSERVAÇÃO NO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, NORDESTE DO BRASIL .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>DIRETRIZES PARA A GEOCONSERVAÇÃO NO SERTÃO CENTRAL CEARENSE .....</b>	<b>49</b>
<b>6.1</b>	<b>Diagnóstico dos sítios geológicos no processo de conservação .....</b>	<b>51</b>
<b>6.2</b>	<b>Medidas para a proteção do patrimônio geológico .....</b>	<b>55</b>
<b>6.3</b>	<b>Medidas para valorização e divulgação do patrimônio geológico .....</b>	<b>56</b>
<b>6.4</b>	<b>Plano de conservação do patrimônio geológico .....</b>	<b>59</b>

6.5	Potencial para geoturismo sustentável no Sertão Central .....	62
6.6	Potencial para atividades educativas no Sertão Central .....	66
6.7	Guia descritivo para a gestão de sítios geológicos .....	68
7	<b>CONTEÚDOS PARA GEOTURISMO E ATIVIDADES EDUCATIVAS NO SERTÃO CENTRAL .....</b>	<b>71</b>
7.1	<b>Roteiro <i>Granitos neoproterozoicos</i> .....</b>	<b>71</b>
7.1.1	<i>Descrição do percurso</i> .....	72
7.2	<b>Roteiro <i>Terrenos pré-cambrianos</i> .....</b>	<b>78</b>
7.2.1	<i>Descrição do percurso</i> .....	79
8	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>84</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>
	<b>APÊNDICE A – ARTIGO: CONSERVAÇÃO DE GEOSSÍTIOS COMO INSTRUMENTO PARA A PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO: O INVENTÁRIO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, PROVÍNCIA BORBOREMA, NE/BRASIL.....</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE B - ARTIGO: IDENTIFICAÇÃO DE SÍTIOS GEOLÓGICOS PARA GESTÃO PRIORITÁRIA: PROPOSTAS PARA A GEOCONSERVAÇÃO NO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, NORDESTE DO BRASIL .....</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICE C – GEOSSÍTIOS DO INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL .....</b>	<b>139</b>
	<b>APÊNDICE D – SÍTIOS DA GEODIVERSIDADE DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL .....</b>	<b>183</b>
	<b>APÊNDICE E – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS NOS APÊNDICES C E D .....</b>	<b>197</b>
	<b>ANEXO A – CRITÉRIOS E PARÂMETROS PARA A AVALIAÇÃO QUANTITATIVA UTILIZADOS NA PLATAFORMA GEOSSIT/CPRM .....</b>	<b>201</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A geoconservação desenvolve-se como ciência para a proteção dos elementos excepcionais da geodiversidade atrelando a conservação da natureza ao desenvolvimento sustentável (BRILHA, 2005; HENRIQUES *et al.*, 2011; CARCAVILLA, 2012; FASSOULAS *et al.*, 2012). Apesar de práticas conservacionistas serem discutidas desde o final do século XIX e do registro de ações para a proteção do espaço natural desde a Antiguidade (VALLEJO, 2009), os esforços sistematizados para a conservação ambiental com bases científicas e em escala global ganharam força a partir da segunda metade do século XX, sob a influência da Convenção das Nações Unidas para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural e da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ambas em 1972.

O patrimônio geológico representa os elementos da geodiversidade que são essenciais para a compreensão da história geológica da Terra, configurando-se como memória e recurso a ser protegido (preservado ou conservado) para a atual e para as futuras gerações. Seus conceitos, métodos e aplicações vêm ganhando forma desde a década de 1990 (REYNARD; BRILHA, 2018), e sua importância no processo de conservação da natureza e desenvolvimento sustentável foi reconhecida pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), por meio das resoluções 4.040/2008 e 048/2012 e pelo Programa Geociências e Geoparques da UNESCO (2015).

A caracterização do patrimônio geológico e a concepção de estratégias de geoconservação, objetos desta tese, foram desenvolvidas no Domínio Ceará Central, nordeste do Brasil. Este domínio apresenta registros geológicos essenciais para entendimento da evolução geodinâmica da Província Borborema e consequente configuração geológica do continente sul-americano. Sua associação de rochas cristalinas abrange desde litotipos arqueanos até corpos graníticos paleozoicos, que permitem compreender um período importante da evolução geológica da Terra, sobretudo relacionado ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano e amálgama do supercontinente Gondwana Oeste. Em toda amplitude de seus terrenos cristalinos o DCC é marcado por vastas planícies dissecadas pontuadas por maciços residuais, revelando a influência do clima semiárido na estruturação da paisagem da região.

Tal composição geoambiental sustenta uma rica cultura sertaneja de estreita relação com a geodiversidade, tanto como condicionante de uso e ocupação do território, como expressa em toponímias (p. ex. Quixadá e Itapajé), símbolos (p. ex. Pedra da Galinha Choca, Pedra do Índio, Pedra Branca) e contos populares (p. ex. Pedra do Frade, Gruta Casa de Pedra). Em contrapartida, a região esteve historicamente à margem do desenvolvimento de outras regiões

do Brasil, o que resultou em frágeis condições socioeconômicas e índices de desenvolvimento humano abaixo da média nacional.

Nesse cenário, este estudo buscou avaliar as possibilidades de proteção de sítios geológicos relevantes para a história geológica do DCC e discutir o manejo e uso dos elementos excepcionais da geodiversidade como alternativa para desenvolvimento sustentável do semiárido cearense. Assim, três questões iniciais nortearam o desenvolvimento dessa tese: Quais os sítios geológicos com valores excepcionais no DCC? Como a geoconservação pode ser aplicada para proteção e promoção desses sítios? Como esses sítios geológicos podem ser utilizados para desenvolvimento sustentável de regiões socioeconomicamente vulneráveis? No que diz respeito às nomenclaturas, o termo sítio geológico foi utilizado para se referir aos geossítios e/ou sítios da geodiversidade de modo abrangente, sem prejuízo de sua classificação.

### **1.1. Objetivos**

Esta tese tem por objetivo geral caracterizar e aplicar os sítios geológicos identificados na porção centro-norte do Domínio Ceará Central como base para a composição de estratégias de geoconservação para a proteção do patrimônio geológico e desenvolvimento sustentável da região, com vistas ao ordenamento territorial, à divulgação do conhecimento geocientífico e ao geoturismo. Para tanto, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a. Inventário de sítios geológicos na porção centro-norte do Domínio Ceará Central;
- b. Avaliação quantitativa do valor científico, do risco de degradação e do potencial de uso educativo e turístico dos sítios geológicos;
- c. Enquadramento dos sítios geológicos dentro do arcabouço legal brasileiro;
- d. Avaliação quantitativa do valor científico, do risco de degradação e do potencial de uso educativo e turístico dos sítios geológicos;
- e. Caracterização territorial com base no patrimônio geológico para definição de área-piloto para desenvolvimento de estratégia de geoconservação;
- f. Diagnóstico dos sítios geológicos e elaboração de plano de conservação para a área piloto, com vistas ao ordenamento territorial e ao geoturismo como instrumentos de desenvolvimento sustentável.

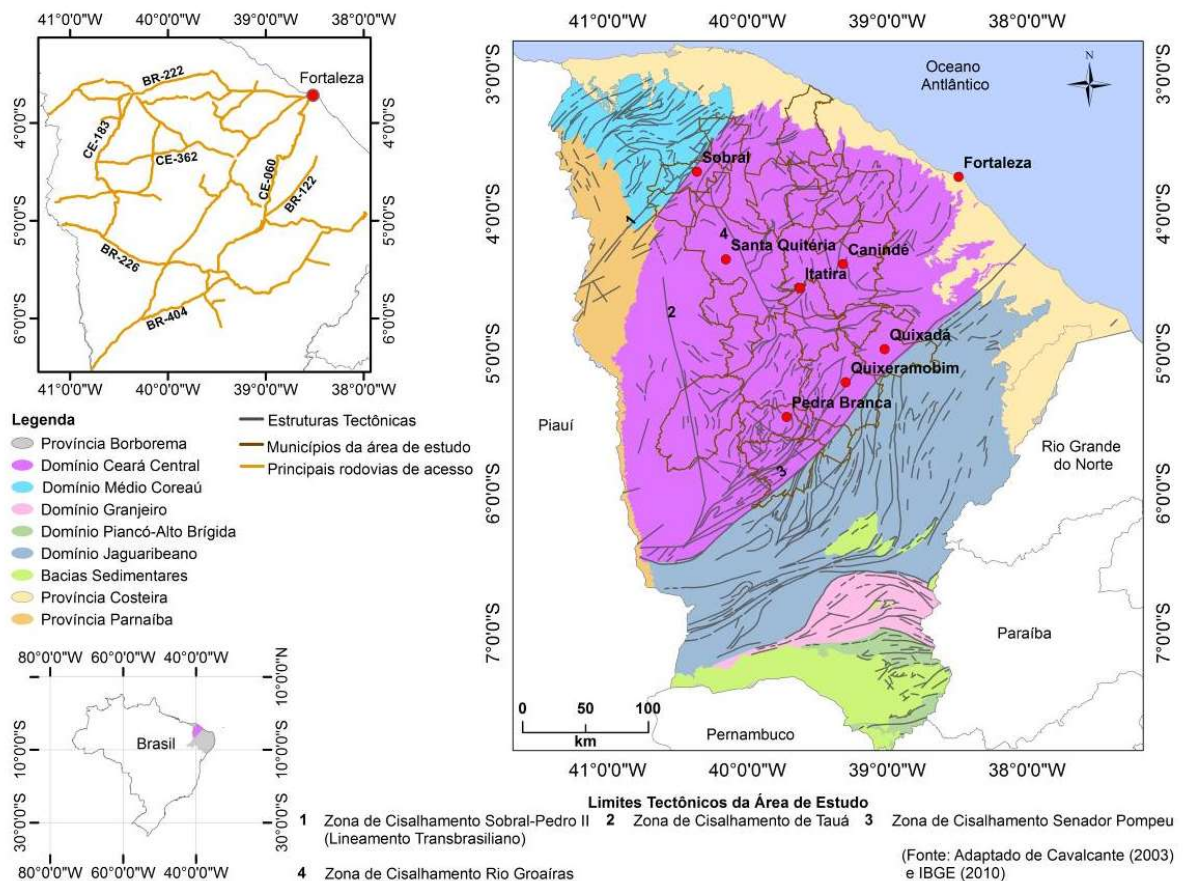


## 1.2. Contextualização da área de estudo: O Domínio Ceará Central

O Domínio Ceará Central (DCC) é o bloco tectônico mais expressivo em área da porção norte da Província Borborema e sua configuração geológica responde ao contexto de evolução geodinâmica da província. Por sua vez, a Província Borborema (PB) constitui-se de terrenos pré-cambrianos compostos de núcleos arqueanos e blocos paleoproterozoicos, faixas de dobramentos neoproterozoicas, granitoides brasileiros e extensas zonas de cisalhamento transcorrentes que separam os diferentes blocos (ARTHAUD, 2007). A estruturação do terreno está relacionada à orogênese do Ciclo Brasileiro/Pan-Africano, há cerca de 600 Ma, durante a convergência dos crátons São Luís/Oeste Africano e São Francisco/Congo que decorreu no amálgama final do continente Gondwana Ocidental (ARTHAUD, 2007).

O DCC está localizado no estado do Ceará, nordeste do Brasil, e limita-se a norte pela zona de cisalhamento Sobral/Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) e pela Província Costeira, a oeste pela Bacia Sedimentar do Parnaíba e a leste e sul pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (Figura 1).

Figura 1 – Compartimentação Tectônica do Estado do Ceará, limites da área de estudo e principais vias de acesso



Fonte: Elaborado pela autora, modificado de Cavalcante *et al.* (2003) e IBGE (2010)

Devido à grande extensão do terreno, a área de estudo concentra-se na porção centro-norte do Domínio, delimitada à sul pela Zona de Cisalhamento de Tauá. A partir da capital Fortaleza, o acesso a área de estudo pode ser realizado pela rodovia BR-020, na direção NE-SW. A rodovia BR-222 é a principal via de acesso aos setores norte e oeste, cortando a área na direção E-W. O acesso aos setores leste e sul é facilitado pelas rodovias CE-060, BR-116 e BR-122, que cortam a área na direção N-S (Figura 1).

A escolha de um domínio tectônico como área de estudo visa avaliar o patrimônio geológico a partir de contextos geológicos específicos, de modo a favorecer a abordagem histórico-evolutiva da geologia. Mansur (2010a) foi a primeira a avaliar o patrimônio geológico no Brasil no contexto dos domínios tectônicos, propondo diretrizes para a geoconservação no Domínio Tectônico Cabo Frio, na região sudeste do país.

### ***1.2.1 Aspectos Geológicos***

O DCC pode ser dividido em quatro unidades litoestruturais principais, de acordo com Fetter *et al.* (2000): (I) núcleo arqueano, (II) embasamento gnáissico juvenil paleoproterozoico, (III) sequência supracrustal vulcanossedimentar e (IV) o arco magmático de Santa Quitéria.

O Núcleo Arqueano é composto por suítes de rochas com afinidade tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG), um complexo máfico/ultramáfico e unidades metavulcanossedimentares (BRITO NEVES *et al.*, 1999; COSTA *et al.*, 2015). Por sua vez, o embasamento gnáissico juvenil paleoproterozoico é constituído por para- e ortognaisses, migmatitos e rochas metamáficas metamorfizadas em condições de médio e alto graus (CASTRO, 2004; ARTHAUD, 2007). Estas unidades compreendem o Complexo Cruzeta, as unidades Algodões, Choró e Acopiara e corpos intrusivos paleoproterozoicos, sobretudo dioritos e gabros, como as suítes Cedro e Madalena. Nestas duas unidades são encontrados gnaisses diversos, metagabros, rochas metaultramáficas, metacalcários, micaxistos, rochas calcissilicáticas, anfíbolitos, quartzitos e formações ferríferas.

A sequência supracrustal vulcanossedimentar é caracterizada pela ocorrência de rochas predominantemente metapelíticas e metapsamíticas (AMARAL *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2015), de idade proterozoica indefinida a neoproterozoica (ARAÚJO, 2014), sendo comum a ocorrência de corpos granitoides pós-colisionais e anorogênicos, com idades entre o Neoproterozoico e o Ordoviciano (CASTRO *et al.*, 2012). Estas sequências estão agrupadas no Complexo Ceará e são compostas por para- e orto- gnaisses frequentemente migmatizados,

mármore, rochas calcissilicáticas, metacalcários, micaxistos, quartzitos, metagabros e metaultramáficas e anfibolitos. Entre os corpos granitoides destacam-se a Suíte Intrusiva Calcialcalina de médio a alto K Itaporanga, a Suíte Intrusiva subalcalina Meruoca e o Complexo Tauá, além de diversos corpos de quimismo indiscriminado dispersos por todo o DCC, representados na Figura 2 como granitoides indiferenciados.

O arco magmático de Santa Quitéria é predominantemente constituído por rochas plutônicas com assinatura isotópica de arco magmático, sendo representado por um batólito formado pela associação de granitoides e migmatitos, com aproximadamente 220 km de comprimento e cerca de 40.000 km<sup>2</sup> de extensão, denominado de Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria (FETTER *et al.*, 2003).

Todas estas unidades litoestruturais foram afetadas por tectonismo tangencial de baixo ângulo, configurando a ocorrência de *nappes* e extensas zonas de cisalhamento (ZC) transcorrente dúctil (GARCIA; ARTHAUD, 2004; ARTHAUD *et al.*, 2008). Entre as diversas estruturas de cisalhamento do DCC, o Lineamento Transbrasiliano (localmente denominado de ZC Sobral-Pedro II) e a ZC Senador Pompeu se apresentam como as mais relevantes. A primeira corta toda a porção oeste do estado do Ceará até limites sudoeste do Mato Grosso do Sul e representa uma das principais suturas da aglutinação do continente Gondwana (ARTHAUD *et al.*, 2008). A ZC Senador Pompeu se destaca pelas diversas faixas milonitizadas que se estendem por cerca de 350 km de comprimento e 15 km de largura. (DELGADO *et al.*, 2003). Ainda merecem destaque as Zonas de Cisalhamento Quixeramobim, Sabonete-Inharé, Umirim, Tauá e a Falha Rio Groáiras.

A configuração das unidades litoestratigráficas do DCC é apresentada na Figura 2.

Figura 2. Unidades litoestratigráficas do Domínio Ceará Central

**Legenda**

- Coberturas Sedimentares Quaternárias
- Grupo Barreiras
- Grupo Rio Jucá
  
- Suíte intrusiva subalcalina Meruoca
- Suítes Gabróides Neoproterozoicas
- Granitoides Neoproterozoicos Indiferenciados
- Suíte Intrusiva Calcialcalina de médio a alto K Itaporanga
- Complexo Tauá
- Ortognaisses facoidais
- Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Complexo Ceará**

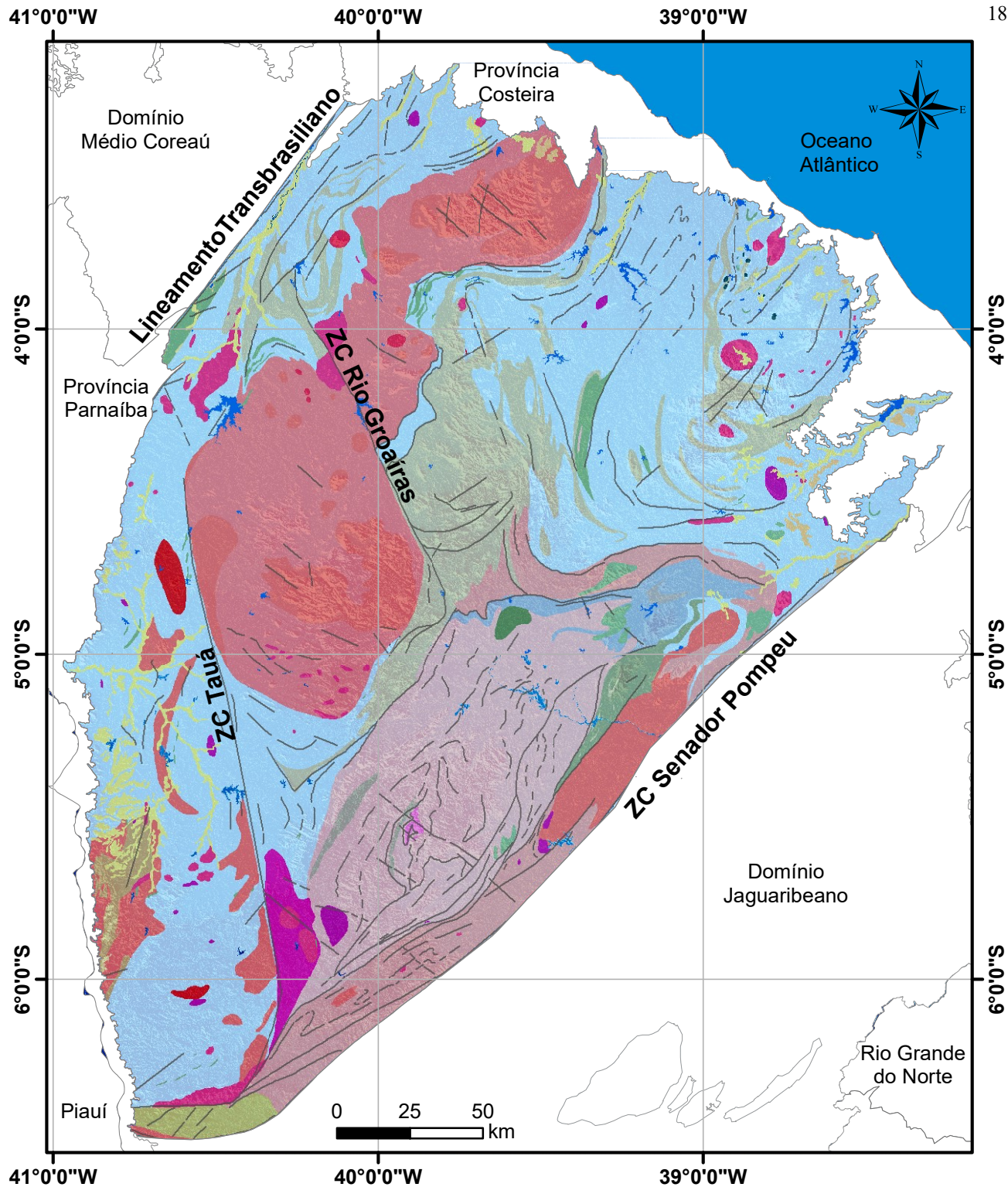
Unidades Indiferenciadas (metaultramáficas, metabásicas, calcissilicáticas, metacalcários, anfibolitos, granulitos, formações ferríferas, ortognaisses e quartzitos)

- Unidade Independência
- Unidade Canindé
- Unidade Quixeramobim
- Unidade Arneiroz (cor)

- Grupo Novo Oriente
- Unidade Acopiara
- Unidade Choró
- Unidade Algodões
- Dioritos e Gabros (Suíte Madalena)
- Ortognaisses Paleoproterozoicos
- Suíte Granitóide Cedro

**Complexo Cruzeta**

- Complexo Cruzeta Indiferenciado
- Unidade Tróia
- Unidade Mombaça

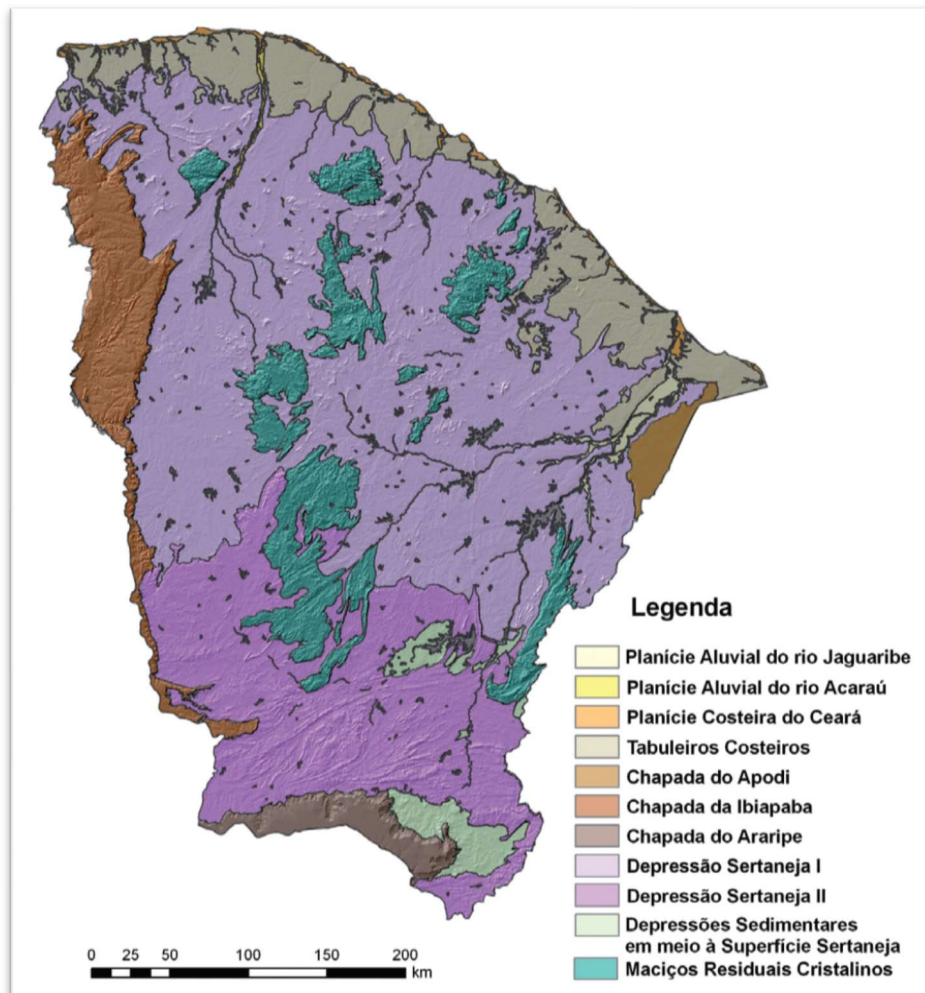


Fonte: Modificado de Cavalcante et al. (2003)

### 1.2.2 Aspectos geomorfológicos e ambientais

A expressão geomorfológica do DCC é marcada pelo intenso controle estrutural herdado da instalação de zonas de cisalhamento transcorrentes no Neoproterozoico (Ciclo Brasileiro/Pan-Africano) e posterior reativação no Cretáceo (rifteamento e abertura do Oceano Atlântico), que favoreceram os processos de dissecação e influenciaram na orientação preferencial dos maciços residuais (SALES; PEULVAST, 2007; MAIA *et al.*, 2010). O relevo é caracterizado por extensas superfícies de aplainamento e maciços cristalinos residuais, expressos em colinas dissecadas e morros e serras baixas, representados na área de estudo pelos domínios Depressão Sertaneja e Maciços Residuais Cristalinos (Figura 3).

Figura 3 – Domínios Geomorfológicos do Estado do Ceará



Fonte: Dantas *et al.* (2014)

O Domínio da Depressão Sertaneja (I) constitui-se de pediplanos incipientemente dissecados por rede de drenagem de baixa densidade e pedimentos posicionados no sopé de

maciços residuais ou na *cuestas* e escarpas de chapadas (DANTAS *et al.*, 2014). Apresenta topografias planas e levemente onduladas com níveis altimétricos inferiores a 400 metros (LIMA; MORAIS; SOUZA, 2000). Inselbergues cristalinos são encontrados dispersos ao longo desta vasta superfície aplainada, sobretudo associados aos granitos brasileiros localizados no setor leste do DCC. Os diversos inselbergues apresentam características morfogenéticas distintas que variam entre corpos coesos marcado por feições de dissolução; corpos com topografias mais elevadas caracterizados por feições de fraturamento; e corpos maciços convexos sem feições de dissecamento aparente (MAIA *et al.*, 2015).

O Domínio dos Maciços Residuais Cristalinos representa um conjunto de relevos residuais de grande expressão topográfica, com altitudes que variam entre 600 e cerca de 1100 metros (DANTAS *et al.*, 2014). Estes maciços desenvolvem-se essencialmente sobre rochas graníticas e migmatíticas e apresentam-se dissecados em feições convexo-aguçadas, com padrões de drenagem dentríticos e subdentríticos (LIMA; MORAIS; SOUZA, 2000). Na área de estudo destacam-se a Serra das Matas, Serra de Pedra Branca e a Serra de Uruburetama.

O clima tropical quente semiárido é predominante na região, com temperaturas médias em entre 26 e 28°C. O regime pluviométrico é caracterizado pela alternância entre uma estação seca prolongada e outra chuvosa, com médias pluviométricas abaixo de 800 mm/ano, e nos maciços residuais acima de 650 metros, as condições climáticas se tornam mais amenas, com precipitação anual superior a 900 mm (LIMA; MORAIS; SOUZA, 2000). O pacote pedológico é formado principalmente por luvisolos e neossolos regolíticos rasos a pouco profundos (MARQUES, 2014).

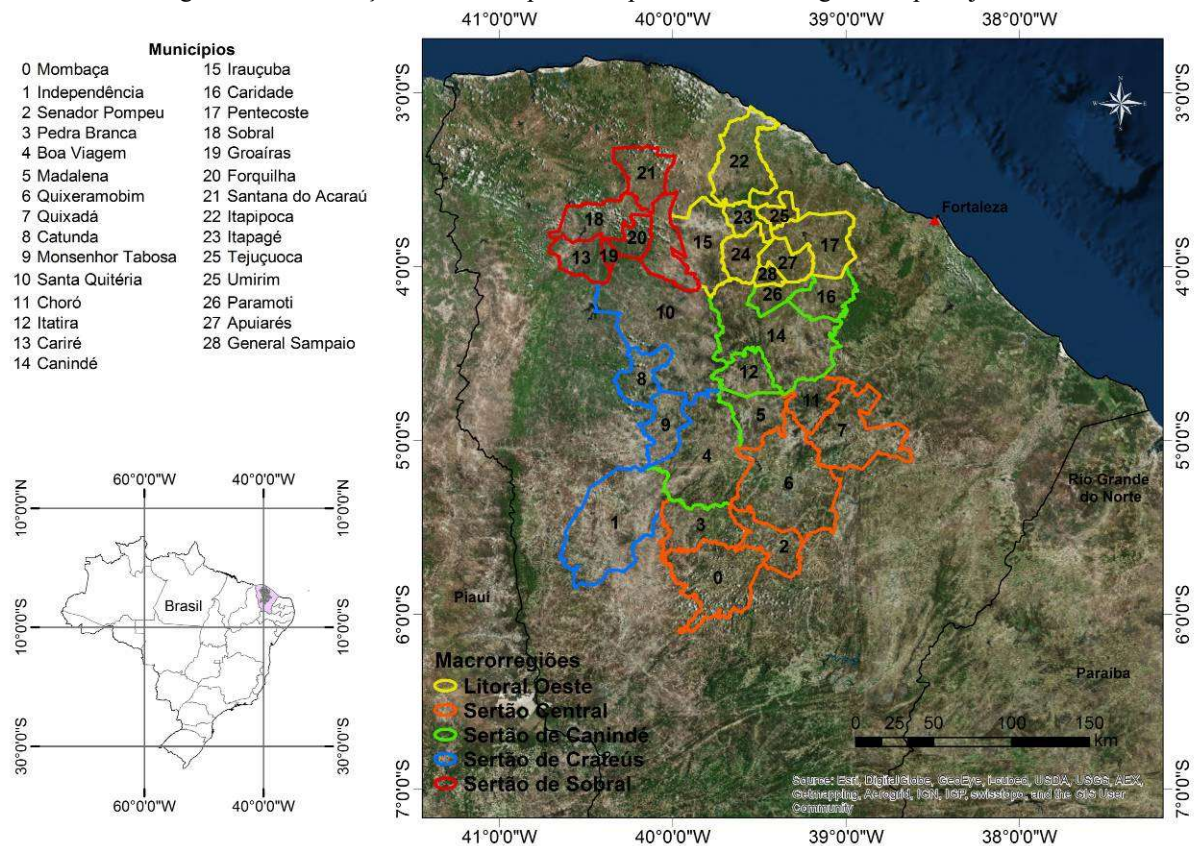
O escoamento superficial é caracterizado por um conjunto de drenagens de caráter intermitente, sazonal e exorréico, com padrões dendríticos influenciados pelo controle estrutural (LIMA; MORAIS; SOUZA, 2000). A vegetação de caatinga é predominante, caracterizada pela vegetação arbustiva caducifólia, com variação fisionômica e florística em função de variações nas condições edafo-climáticas (LIMA; MORAIS; SOUZA, 2000). Tais condições de aridez, com problemas históricos de escassez de água associadas ao pacote pedológico incipiente, dificultaram o desenvolvimento socioeconômico da região.

### ***1.2.3 Aspectos socioeconômicos***

O DCC inclui 87 municípios do interior do estado do Ceará e 29 deles foram contemplados no desenvolvimento deste trabalho, perfazendo aproximadamente 39 mil km<sup>2</sup>. Os municípios foram selecionados por apresentarem algum sítio geológico inventariado em seu

território ou por se localizarem entre municípios com pontos inventariados, a saber: Apuiarés, Boa Viagem, Canindé, Caridade, Cariré, Catunda, Choró, Forquilha, General Sampaio, Groaíras, Independência, Irauçuba, Itapagé, Itapipoca, Itatira, Madalena, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Paramoti, Pedra Branca, Pentecoste, Quixadá, Quixeramobim, Santana do Acaraú, Santa Quitéria, Senador Pompeu, Sobral, Tejuçuoca e Umirim (Figura 4).

Figura 4 – Localização dos municípios e respectivas macrorregiões de planejamento



De acordo com o Censo Demográfico de 2010, na região residem cerca de 1.100.000 habitantes que representam 13% da população do estado do Ceará. Sobral é o município mais populoso, com cerca de 190 mil habitantes, enquanto General Sampaio possui cerca de 6.000 habitantes. A densidade demográfica média de 32,7 hab./km<sup>2</sup>, abaixo da média estadual (56,8 hab./km<sup>2</sup>), e somente o município de Itapagé possui valores acima de 100 hab./km<sup>2</sup> (BRASIL, 2010). Dados do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD (2013) apontam Índices de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) baixos e médios, com valores entre 0,562 (Itatira) e 0,714 (Sobral), e valor médio de 0,621. Todos os municípios possuem IDHM abaixo da média nacional (0,727) e somente Sobral está acima da média estadual (0,682). A renda per capita média é de R\$ 250,38, que representa 54% da média

estadual (R\$ 460,63) e é quase três vezes menor que a média nacional (R\$ 793,87). Da população total, cerca de 70% se encontra em condições de vulnerabilidade a pobreza, isto é, possuía em 2010 renda per capita igual ou menor a R\$ 255,00 (PNUD, 2013). As informações detalhadas por municípios são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados socioeconômicos dos municípios da área de estudo

Município	Área (km <sup>2</sup> )	Densidade Demográfica	População	IDHM	Renda per capita	% de vulneráveis a pobreza
Apuiarés	545,158	25,54	13.925	0,618	224,63	70,96
Gal. Sampaio	205,810	30,21	6.218	0,568	242,1	71,11
Irauçuba	2.836,780	15,28	22.324	0,605	211,75	76,5
Itapagé	430,565	110,01	48.350	0,623	263,18	69,87
Itapipoca	3.218,678	71,90	116.065	0,64	264,08	69,64
Pentecoste	1.378,258	25,68	35.400	0,629	264,95	71,69
Tejuçuoca	759,715	22,42	16.827	0,584	199,81	75,43
Umirim	316,723	59,35	18.802	0,587	195,42	79,01
Choró	815,770	15,76	12.853	0,585	171,62	79
Mombaça	2.119,480	20,14	42.690	0,582	243,85	69,52
Pedra Branca	1.303,287	32,14	41.890	0,603	231,56	71,21
Quixadá	2.019,833	39,91	80.604	0,659	317,66	62,51
Quixeramobim	3.275,625	21,95	71.887	0,642	317,45	63,18
Sen. Pompeu	1.002,131	26,41	26.469	0,619	283,8	63,31
Boa Viagem	516,993	18,51	52.498	0,598	250,47	71,03
Canindé	3.218,480	23,14	74.473	0,612	278,9	69,79
Caridade	846,505	23,65	20.020	0,592	213,18	72,88
Itatira	783,436	24,12	18.894	0,562	196,02	75,39
Madalena	1.034,722	17,48	18.088	0,61	225,22	73,93
Paramoti	482,592	23,43	11.308	0,583	196,63	77,17
Catunda	790,705	12,59	9.952	0,609	225,43	75,83
Independência	1.614,159	7,95	25.573	0,632	262,34	68,32
Monsenhor Tabosa	886,137	18,85	16.705	0,61	237,18	71,01
Santa Quitéria	4.260,479	10,05	42.763	0,616	238,84	71,68
Cariré	756,875	24,24	18.347	0,596	225,75	72,04
Forquilha	516,993	42,14	21.786	0,644	300,9	59,2
Groaíras	155,946	65,59	10.228	0,633	304,64	61,02
Santana do Acaraú	969,326	30,89	29.946	0,587	224,83	79,57
Sobral	2.122,897	88,67	188.233	0,714	448,89	51,76
	<b>39.184,06<sup>1</sup></b>	<b>32,69<sup>2</sup></b>	<b>1.113.118<sup>1</sup></b>	<b>0,621<sup>2</sup></b>	<b>250,38<sup>2</sup></b>	<b>70,47<sup>2</sup></b>
Fortaleza	314,930	7.786,44	2.452.185	0,754	846,36	32,88
Ceará	-	56,8	8.452.381	0,682	460,63	54,85
Brasil	-	-	190.755.799	0,727	793,87	32,56

Fonte: Elaborado pela autora com dados de IBGE (2010) e PNUD (2013). Legenda: 1(soma dos valores parciais), 2 (valores médios). Renda per capita em Reais.



A análise econômica realizada por Rabelo *et al.* (2016) demonstra que a indústria de calçados, majoritariamente de couro, o comércio e a fabricação de cimentos na região de Sobral despontam como as principais atividades econômicas da região. Os autores ainda destacam que a economia regional apresenta grande dependência da administração pública como fonte geradora de emprego e renda. O setor de turismo, principalmente de cunho religioso, apresenta relevância pontual na região de Canindé e Quixadá.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A geoconservação, enquanto disciplina no campo de estudos das Ciências da Terra, está intimamente relacionada aos conceitos de geodiversidade e patrimônio geológico (HENRIQUES *et al.*, 2011). Antes de discorrer sobre os marcos teóricos que fundamentam seu desenvolvimento científico, serão apresentados os principais eventos históricos que fomentaram a conservação da natureza em âmbito global e contribuíram para a construção de uma perspectiva geológica de conservação.

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em Estocolmo no ano de 1972, estabeleceu as bases para as atuais práticas de conservação da natureza, impulsionando políticas públicas e investigação científica voltadas para questões ambientais. No mesmo ano, em Paris, a Convenção para Proteção do Patrimônio Mundial Cultural e Natural apresentou as diretrizes para a conservação do patrimônio natural, reconhecendo as formações geológicas e fisiográficas como elementos patrimoniais, seja por seu valor científico e/ou estético, conforme os critérios *vii* e *viii*<sup>1</sup> da Convenção (UNESCO, 2017). Na década de 1980, o documento *Nosso Futuro Comum*, derivado do *Relatório Brundtland* de 1987 (CMMAD, 1991), foi um importante evento no cenário conservacionista, por conceituar o termo de desenvolvimento sustentável e associá-lo às políticas de conservação da natureza.

Alguns anos mais tarde, uma nova Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento foi realizada no Rio de Janeiro, em 1992, e estreitou as relações entre meio ambiente e sociedade, consolidando o conceito de biodiversidade e desenvolvimento sustentável. Foi nesse cenário que o termo geodiversidade foi introduzido de forma independente por diversos cientistas, influenciados pelo impacto do termo biodiversidade nas políticas de conservação de natureza (CARCAVILLA *et al.*, 2007; GRAY, 2018). Do mesmo modo, é nessa conjuntura que o patrimônio geológico e a geoconservação se fundamentaram como temática aplicada nas ciências da Terra, com o contínuo interesse científico sobre o tema e surgimento de iniciativas para a proteção do patrimônio geológico em diversos países (REYNARD; BRILHA, 2018).

---

<sup>1</sup> Critérios para avaliação do valor universal excepcional conforme a Convenção do Patrimônio Mundial: (vii) representar fenômenos naturais notáveis ou áreas de beleza natural e de importância estética excepcionais; (viii) ser exemplos eminentemente representativos dos grandes estágios da história da Terra, nomeadamente testemunhos da vida, de processos geológicos em curso no desenvolvimento de formas terrestres ou de elementos geomofológicos ou fisiográficos de grande significado.

Entre as referidas iniciativas destaca-se a Primeira Conferência Internacional para a Proteção do Patrimônio Geológico, que culminou com a Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra, realizada em 1991, na França. Em 1992, foi criada a Associação Europeia para a Conservação do Patrimônio Geológico (ProGEO) e um ano depois, foi realizada a Conferência de Malvern para Conservação Geológica e da Paisagem. Nesta mesma década, uma parceria entre a *International Union of Geological Sciences* (IUGS) e a UNESCO resultou em um projeto para a identificação de sítios geológicos globais (GILGES), que posteriormente derivou para o projeto Global Geosites - 1994. Embora não esteja em ação desde meados de 2006, este projeto impulsionou iniciativas em diversos países para a conservação do patrimônio geológico, como a criação da Comissão Brasileira de Sítios Paleobiológicos e Geológicos (SIGEP), em 1997.

Além da geodiversidade, geoconservação e patrimônio geológico, com a evolução da disciplina outros dois conceitos somaram-se à temática e merecem menção: geoturismo e geoparques. Agora, os chamados 5Gs (*geodiversity, geoheritage, geoconservation, geotourism e geoparks*) sustentam a geoconservação enquanto área emergente das ciências da Terra (HENRIQUES *et al.*, 2011; CARCAVILLA, 2012) e estabelecem a base para a conservação da natureza sob a perspectiva do meio físico.

## 2.1 Geodiversidade

Uma das primeiras referências sobre geodiversidade, Sharples (1995, p. 38) definiu o termo como “a diversidade de sistemas e processos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, considerando o registro dos processos pretéritos e o produto dos processos atuais”. Uma década depois, Gray (2004, p. 8) conceitua-a como “a diversidade natural de elementos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (formas, processos físicos) e solos, incluindo suas associações, relações, propriedades, interpretações e sistemas”. Em Gray (2013) os elementos hidrológicos foram incluídos dentro deste escopo. Tanto Sharples (1995) quanto Gray (2004) atribuíram à geodiversidade alguns valores que justificassem sua conservação, a saber: intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional (ecológico), científico e didático.

A IUCN (2018) segue a mesma linha quando define a geodiversidade como “a variedade de elementos geológicos, tais como minerais, rochas, solos, fósseis e relevos, processos geológicos e geomorfológicos ativos que, juntos com a biodiversidade, constituem a diversidade natural do planeta Terra”. No Brasil, a CPRM condiciona à geodiversidade um caráter funcional aplicado ao planejamento territorial, reconhecendo-a como o estudo da

diversidade da natureza abiótica, tendo como valores intrínsecos a cultural, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (SILVA, 2008, p. 12). Além da variedade dos elementos, esta abordagem também considera a variedade de ambientes e processos geológicos que moldam a superfície e sustentam a vida na Terra.

Alguns autores, como Stanley (2000) e Kozłowski *et al.* (2004), apresentaram uma abordagem parecida, mas incluíram entre os elementos da geodiversidade as relações entre o meio abiótico e sociedade e os produtos resultantes de processos antrópicos. Uma vertente ainda mais ampla é defendida por Benito-Calvo *et al.* (2009), Parks e Mulligan (2010) e Hjort *et al.* (2012), entre outros, incluindo processos climáticos no contexto da geodiversidade. Esta abordagem mais holística parece se aproximar de outros conceitos já fundamentados em estudos biogeográficos e ecológicos, tornando difuso o protagonismo dos elementos geológicos no estudo da geodiversidade.

Sob outro ponto de vista, a geodiversidade é interpretada de maneira quantitativa, relacionando a frequência, a variabilidade e a distribuição espacial. Nesse âmbito, a geodiversidade foi definida como a variedade de materiais e elementos geológicos (tais como minerais, rochas, fósseis, solos, estruturas tectônicas, geomorfológicas, e sedimentares etc.) presentes em um determinado território que constituem o substrato para o desenvolvimento do meio biótico (NIETO, 2001; CARCAVILLA *et al.*, 2008). Nesta abordagem são considerados somente elementos concretos e com limites definidos resultantes de processos geológicos, o que não comporta aspectos geográficos, paisagísticos e processos climáticos.

As diversas definições propostas para a geodiversidade podem ser agrupadas entre temáticas e territoriais (GRAY, 2013). As definições temáticas possuem aspecto amplo e qualitativo, em que a geodiversidade representa um conceito - um novo paradigma das geociências, conforme proposto por Gray (2008). As definições territoriais apresentam aspecto aplicado e quantitativo, em que a geodiversidade representa a frequência de uma determinada característica do meio físico por unidade de área.

Desde sua recente chegada na esfera científica, alguns métodos têm sido desenvolvidos para realizar o mapeamento, a avaliação e o uso da geodiversidade, os quais geralmente resultam em listas descritivas, mapas ou modelos matemáticos de representação espacial. Cabe destacar o trabalho de Pereira *et al.* (2013) em que foi desenvolvido um método para cálculo do índice de geodiversidade com vistas ao planejamento ambiental. Este método foi aprimorado por Araújo e Pereira (2017) e aplicado para cálculo do índice de geodiversidade no estado do Ceará. Os métodos mais utilizados para a avaliação da geodiversidade foram

analisados por Zwolinski *et al.* (2018) e agrupados em qualitativos, quantitativos e quali-quantitativos:

- a) qualitativos: como documentação-descrição, classificação por especialistas e avaliação de valores e benefícios, como os valores da geodiversidade (GRAY, 2004) ou serviços ecossistêmicos (GRAY, 2013);
- b) quantitativos: como cálculo de índices de geodiversidade, modelos estatísticos e álgebra de mapas, comumente executados em ambiente SIG, por exemplo Pereira *et al.* (2013) e Araújo e Pereira (2017);
- c) quali-quantitativos: com a utilização de combinação ou técnicas mistas, como processos de análise hierárquica, por exemplo, Benito-Calvo *et al.* (2009).

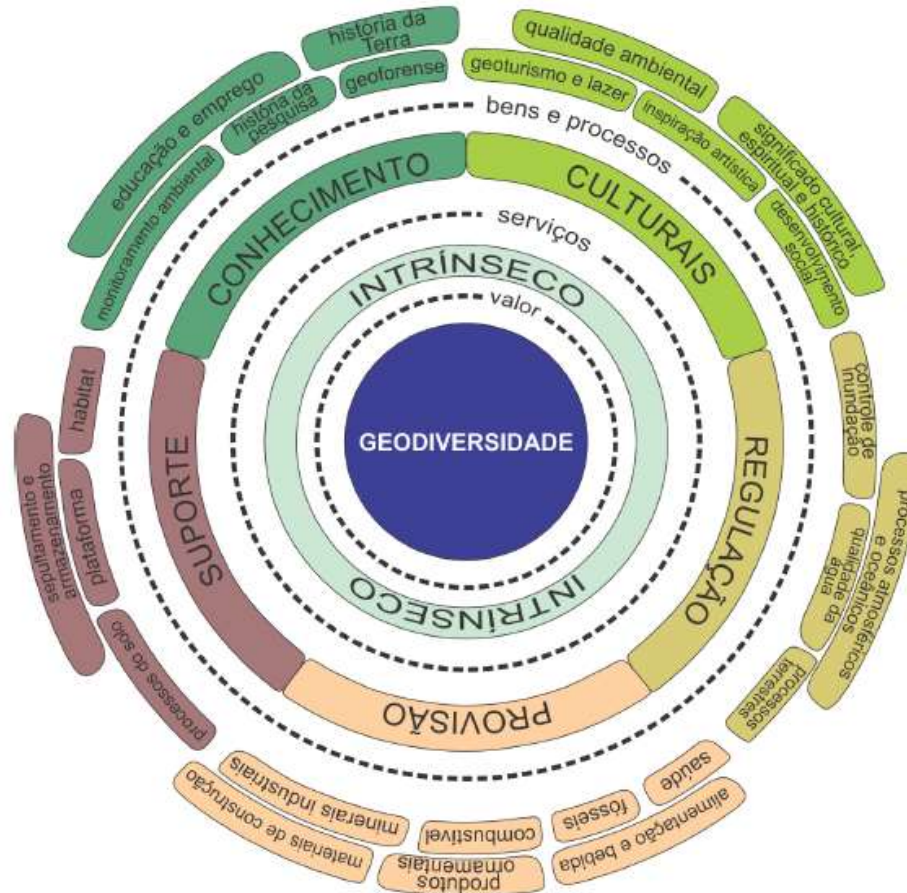
Alguns métodos de avaliação da geodiversidade têm sido aplicados na esfera das políticas públicas, no âmbito de planejamentos e ordenamentos territoriais. No Reino Unido, o desenvolvimento de Planos de Ação da Geodiversidade (*Geodiversity Action Plan- GAP*) representa um dos casos mais conhecidos de uso aplicado da geodiversidade. Os GAPS são construídos com participação dos governos locais e sociedade civil com o intuito de promover a conservação e a promoção dos sítios geológicos, no caso denominados de Sítios de Especial Interesse Científico (SSSIs – *Sites of Special Scientific Interest*) (DUNLOP; LARWWOD; BUREK, 2018). No Brasil, a CPRM possui um projeto estratégico de mapeamento da geodiversidade, em escala nacional e estadual, a fim de identificar as limitações e as potencialidades da geodiversidade para agricultura, obras civis, recursos hídricos, fonte poluidoras, mineração e geoturismo (SILVA, 2008).

Considerando a geodiversidade como arcabouço para o desenvolvimento do meio biótico e parte integrante dos mais diversos ecossistemas, Gray (2013) sugeriu a avaliação da geodiversidade enquanto recurso natural no contexto dos *serviços ecossistêmicos*. A partir da *Millennium Ecosystem Assessment* (2003), o autor propôs que esta avaliação fosse realizada por meio de cinco serviços (provisão, regulação, suporte, cultural e conhecimento), onde se encontram distribuídos 25 bens e processos (Figura 5).

Os *serviços ecossistêmicos* representam os bens e processos provenientes dos ecossistemas e que podem ser utilizados em benefício da sociedade (BRILHA *et al.*, 2018). Este modo de avaliação da geodiversidade contribui para a conservação da natureza a partir do manejo sustentável dos recursos naturais. Brilha *et al.* (2018) discutem esta abordagem e sugerem o manejo sustentável da geodiversidade considerando os serviços provenientes dos

recursos naturais extraíveis – sobretudo aqueles provenientes da exploração mineral, e os serviços obtidos com o uso dos recursos não extraíveis, como uso educativo, científico e turístico.

Figura 5 - Serviços, bens e processos direcionados a geodiversidade de acordo com a abordagem dos serviços ecossistêmicos



Fonte: Silva e Nascimento (2016)

## 2.2 Patrimônio Geológico

Patrimônio, sob a compreensão da conservação, pode ser entendido como uma construção cultural que reflete os valores atribuídos pela sociedade a determinados elementos, sejam eles culturais/históricos ou naturais. Representa, em sua origem, uma herança repassada entre as gerações. Para o patrimônio geológico, esta herança diz respeito a história geológica da Terra e a alíquota desta herança que se pretende guardar para as futuras gerações, tendo relação direta com a concepção de natureza de nossa sociedade.

Com esta premissa, o patrimônio geológico é definido como o conjunto de elementos da geodiversidade (*in situ* ou *ex situ*) com elevado valor científico, aflorantes por processos naturais ou antrópicos, que foram inventariados e caracterizados em uma

determinada área (BRILHA 2005, 2016, 2018a). O patrimônio geológico compreende exemplos da geodiversidade que devem ser identificados e conservados pela sua significância, para benefício atual e das futuras gerações (GRAY, 2004; IUCN, 2012). Uma síntese sobre diferentes concepções sobre o patrimônio geológico foi realizada por Brocx e Semeniuk (2007). Entre as referências citadas, o patrimônio geológico foi interpretado como o conjunto de elementos que permitem a compreensão da história da Terra (p. ex. BRADBRURY, 1993), possuem significado ou valor para a sociedade para além da exploração enquanto recursos minerais (p. ex. OSBORNE, 2000; SHARPLES, 2002) e podem ser utilizados pela sociedade para fins não destrutivos, como pesquisa, educação e turismo (p. ex. BRILHA, 2002).

A representatividade para entendimento de aspectos geológicos, a integridade referente ao seu estado de conservação, a raridade do elemento e o conhecimento científico relativo sobre a geologia do local são características essenciais para que um determinado sítio geológico seja classificado como patrimônio (MANSUR, 2010a; BRILHA, 2016). O conjunto de tais características é entendido neste trabalho como a singularidade do patrimônio geológico. Carcavilla *et al.* (2007) descreveram algumas situações que caracterizam esta singularidade: a) afloramentos representativos da evolução geodinâmica de contextos geológicos específicos; b) que representem a primeira descrição de determinados aspectos da geologia; c) considerados os melhores exemplares de determinados aspectos geológicos; d) que tenham sido utilizados para estabelecer padrões geológicos internacionais, como os estratótipos definidos pela *International Commission on Stratigraphy* e; e) demonstrem processos geológicos únicos, atuais ou que ocorreram em tempo histórico que mostrem a dinâmica do planeta e a relação da sociedade com os processos geológicos.






O local e a forma de ocorrência dos elementos da geodiversidade com valor patrimonial são fundamentais na composição do patrimônio geológico. As ocorrências *ex situ* dizem respeito a amostras coletadas e depositadas em museus ou centros de interpretação que, mesmo fora de seu local de origem, mantiveram seu valor científico, tais como fósseis e minerais, por exemplo. Quando ocorrem *in situ*, os elementos da geodiversidade com excepcional valor são comumente denominados de geossítio, geotopo ou lugares de interesse geológico (LIG), entre outros.

O conceito geral de patrimônio geológico abarca elementos da geodiversidade com valores excepcionais diversos, como cultural, educativo, estético, turístico etc. (BRILHA, 2005; BROCX; SEMENIUK, 2007; CARCAVILLA *et al.*, 2007). Por outro lado, Brilha (2016) propôs que o patrimônio geológico fosse relacionado apenas aos elementos com elevado valor científico (geossítios). Para os elementos com valores diversos, o autor propôs a denominação

de sítios de geodiversidade. Estes novos sítios não seriam considerados como elementos patrimoniais – em termos geológicos, no entanto, deveriam ser aplicados nas estratégias de geoconservação de um determinado território. É nesse novo viés que este trabalho foi desenvolvido.

Os geossítios representam a unidade básica do patrimônio geológico (HENRIQUES *et al.* 2011), em torno da qual todo o planejamento de conservação será delineado (PROSSER; DÍAZ-MARTÍNEZ; LARWOOD, 2018). Nesse sentido, a delimitação geográfica do geossítio é questão essencial no processo de caracterização do patrimônio geológico e deve contemplar todo ou parte do afloramento que contenha a característica que confere seu valor patrimonial, bem como uma área adjacente que garanta sua proteção. Uma possível classificação e delimitação dos geossítios em função de diferentes dimensões foi proposta por Brocx e Semeniuk (2007): regional (100 km x 100 km); ampla (10 km x 10 km); média (1 km x 1 km); pequena (10 m x 100 m), fina (1 m x 1 m) e muito fina (1 mm x 1 mm). Por sua vez, Fuertes-Gutiérrez e Fernández-Martínez (2010) definiram uma classificação baseada no tamanho e geometria do geossítio, a saber: área (>1 ha com apenas um local de interesse); área complexa (amplas áreas com vários locais interesses), ponto (<1 ha com apenas uma característica geológica), seção (<1 ha com características geológicas distribuídas linearmente) e ponto mirante (uma área com interesse geológico e seu ponto ótimo de observação). Neste trabalho optou-se por adotar esta última classificação (Tabela 2).

Tabela 2 - Categorias tipológicas e suas principais características

Classificação	Definição	Fragilidade	Vulnerabilidade	Resistência	Propostas
<b>Ponto</b>		Baixa a alta	Alta	Baixa	Necessidade de proteção
<b>Seção</b>		Média	Média	Média	Definir percurso ao longo do sítio
<b>Área</b>		Baixa	Baixa	Alta	Indicado para divulgação
<b>Ponto Mirante</b>		Baixa	Alta	Alta	Indicado para divulgação
<b>Área Complexa</b>		Baixa, mas pode ser localmente alta	Baixa, mas pode ser localmente alta	Alta	Incorporar a áreas protegidas

Fonte: Modificado e traduzido de Fuertes-Gutiérrez e Fernández-Martínez (2010)

O patrimônio geológico contempla todo o patrimônio natural abiótico, independentemente de seu conteúdo, como por exemplo, espeleológico, estratigráfico,



geomorfológico, hidrogeológico, mineralógico, paleoambiental, paleontológico, petrológico, tectônico, vulcanológico, além de sítios referentes à história da geologia (BRILHA, 2005). Alguns autores (p. ex. RODRIGUES; FONSECA, 2008) adotam o uso do termo geopatrimônio para designar o patrimônio natural abiótico de diversos conteúdos e consideram o patrimônio geológico como uma das possíveis categorias de geopatrimônio. Todavia, esclarece-se que neste trabalho os termos patrimônio geológico e geopatrimônio são considerados sinônimos, tal como é internacionalmente aceito para os seus correspondentes em inglês, *geological heritage* e *geoheritage*.

Dentro dos diversos conteúdos relativos ao patrimônio geológico, cabe destaque aos sítios de conteúdo geomorfológico, por possuírem algumas peculiaridades conceituais e metodológicas (CORATZA; HOBLÉA, 2018). O patrimônio geomorfológico representa o conjunto de geomorfossítios de um determinado território que devem ser protegidos e transmitidos para as futuras gerações (REYNARD *et al.*, 2007, 2009). Em consequência, geomorfossítios são paisagens e formas de relevo aos quais foram atribuídos valores devido a percepção da sociedade ou exploração do território, tais como valor científico, cultural, histórico, estético e econômico (PANIZZA, 2001).

A avaliação detalhada do patrimônio geomorfológico de Coratza e Hobléa (2018) explicita as principais peculiaridades e diferenças conceituais entre os patrimônios geológico e geomorfológico. Ao avaliar a paisagem como elemento patrimonial, o patrimônio geomorfológico inclui os aspectos culturais que interagem com o meio físico, para além dos elementos abióticos do território. Esta abordagem representa a principal diferença conceitual entre os referidos patrimônios. Contudo, para fins deste trabalho, o patrimônio geomorfológico não será distinguido dos demais conteúdos, sendo o patrimônio geológico empregado como termo integrador de todos os elementos notáveis da geodiversidade, conforme Brilha (2005).

### **2.3 Geoconservação**

A geoconservação emergiu tardiamente dentro do escopo da conservação da natureza, embora práticas em geoconservação já tenham sido adotadas ao longo do século XVIII e XIX nos Estados Unidos e na Europa (GONGGRIJP, 2000; HENRIQUES *et al.*, 2011). Alguns autores, como Erikstad (2008), citam o caso da caverna de Baumannshöhle (Alemanha), em 1668, como uma das primeiras ações documentadas em geoconservação; e ainda na Alemanha a primeira reserva natural geológica foi demarcada em 1836 (GRAY, 2004).

O Parque Nacional de *Yellowstone* e o Parque Nacional de *Yosemite*, criados nos Estados Unidos da América no final do século XIX, configuraram-se como primeiros casos de proteção legal de feições geológicas (ERIKSTAD, 2008). Mesmo que naquele momento a geoconservação ainda não tenha sido delineada enquanto ciência, ela aparece como conceito subjetivo e intrínseco na esfera da conservação da natureza. Na época, vislumbrava-se o valor estético e pitoresco da paisagem, na concepção *wilderness*, de Thoreau (1817-1862), concomitante ao desenvolvimento da geologia moderna (CARCAVILLA, 2012). Para Vallejo (2009), os problemas ambientais urbanos ocasionados pela Revolução Industrial contribuíram para a valorização da vida no campo, favorecendo o processo de delimitação de áreas para a preservação da natureza.

A geoconservação com base sistemática e científica remete à criação da *Geological Conservation Review*, no Reino Unido, no final da década de 1970 (HENRIQUES *et al.*, 2011; BRILHA, 2018a), embora Burek e Prosser (2008) atentem para o fato que desde 1950 o país já apresentava legislação e ações coordenadas e estruturadas com vistas à geoconservação. A Austrália e a Tasmânia, por exemplo, trabalham para a conservação de sítios geológicos desde meados da década de 1980 (SHARPLES, 1993). A criação dos geoparques europeus no início do século XXI e seu posterior reconhecimento pela UNESCO em 2015 é considerada como um dos fatores responsáveis pela disseminação de estratégias de geoconservação nas últimas duas décadas (BUREK; PROSSER, 2008; BRILHA, 2018b).

Um dos primeiros conceitos e definições específicos sobre o tema foi apresentado por Sharples (1993). Naquele momento, o autor definiu a geoconservação como a conservação da geodiversidade pelo seu valor intrínseco, ecológico e patrimonial. Em Sharples (2002), o autor reiterou que a geoconservação deveria ir além da proteção do patrimônio geológico e contemplar a proteção da geodiversidade no sentido amplo, a fim de garantir a base para a manutenção dos processos ecológicos que dependem do meio físico. No referido trabalho, o autor apresentou o que seriam os objetivos gerais da geoconservação:

- a) conservar e assegurar a manutenção da geodiversidade;
- b) proteger e manter a integridade dos locais com relevância em termos de conservação;
- c) minimizar os impactos adversos desses locais;
- d) interpretar a geodiversidade para os visitantes desses locais e;
- e) contribuir para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos que dependem da geodiversidade (SHARPLES, 2002).

A geoconservação como garantia de proteção para a geodiversidade, considerando seus valores e potenciais ameaças, também é defendida por Gray (2004, 2013).

A visão de proteção à geodiversidade direcionada aos sítios com valores patrimoniais é encontrada em Brilha (2005), quando o autor definiu a geoconservação como a conservação e gestão do patrimônio geológico e processos naturais a ele associados. A abordagem conceitual de Henriques *et al.* (2011) também direciona a geoconservação ao patrimônio geológico, quando propõem o gerenciamento de elementos geológicos com excepcional valor científico, educacional, turístico e cultural.

A geoconservação também pode ser entendida como o conjunto de ações (técnicas e metodologias) para conservar e aprimorar características, processos, locais e elementos geológicos e geomorfológicos (BUREK; PROSSER, 2008), com base nos valores intrínsecos, vulnerabilidade e risco de degradação (CARCAVILLA *et al.*, 2007). A aplicação de métodos fundamentados na definição de categorias geológicas temáticas (*geological frameworks*), na pesquisa sistemática e na avaliação comparativa foi sugerida por Wimbledon (1995, 1996, 1999), com base no projeto *Global Geosites* da IUGS, que tinha como objetivo a conservação do patrimônio geológico. A necessidade de definição das categorias geológicas para o desenvolvimento adequado das estratégias de geoconservação em áreas extensas, como o território brasileiro, também foi tratada por Lima *et al.* (2010).

Uma das primeiras estratégias de geoconservação pautadas na identificação, diagnóstico, classificação e valoração de lugares de interesse geológico (LIGs) foi delineada por Uceda (2000). Gonggrijp (2000) sugeriu um procedimento holístico que se iniciava na percepção do fenômeno geológico até a gestão do local, com base na identificação (definição de categorias geológicas, desenvolvimento de um sistema de classificação tipológica e identificação dos sítios de interesse geológicos); proteção (enquadramento legal, inserção da geoconservação em políticas territoriais e ambientais e ordenamento territorial) e em procedimentos de manutenção dos geossítios (visibilidade, monitoramento e gestão dos geossítios).

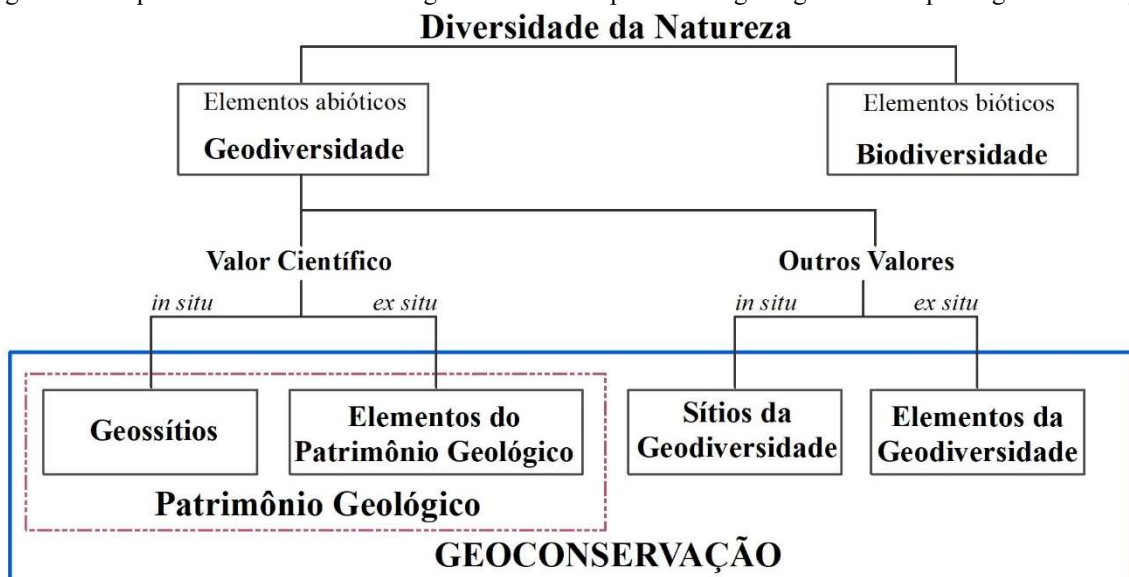
Um dos métodos de geoconservação mais difundidos no Brasil foi proposto por Brilha (2005) e está baseado em ações de Inventário, Avaliação Quantitativa (valor científico, vulnerabilidade e potencial uso educativo e turístico), Enquadramento Legal, Conservação, Valorização e Divulgação e Monitoramento. No âmbito do Instituto Geológico e Mineiro da Espanha (IGME), Garcia-Cortés e Carcavilla (2009) estabeleceram estratégias de geoconservação por meio de inventários sistemáticos-temáticos, valoração (avaliação quantitativa), conservação e divulgação dos lugares de interesse geológico (LIGs). Estas duas

metodologias fundamentaram a plataforma de avaliação de sítios geológicos (*GEOSSIT*), desenvolvida pela CPRM. Esta plataforma foi delineada para a avaliação dos sítios geológicos no âmbito do projeto Geoparques do Brasil, mas vem sendo ampliada para a construção de um inventário nacional de sítios geológicos (LIMA *et al.*, 2012; ROCHA *et al.*, 2016, SCHOBENHAUS, 2018).

Com o passar dos anos, tendo como base o número cada vez maior de pesquisas na área, o viés da geoconservação como ciência aplicada e sua relação com questões pertinentes ao desenvolvimento sustentável para além da conservação geológica se tornaram fundamentais (FASSOULAS *et al.*, 2012). Como exemplo, Henriques *et al.* (2011) discutiram algumas possibilidades de aplicação prática da geoconservação para a solução de problemas de interesse social, principalmente oriundos da má gestão dos recursos geológicos ou do planejamento territorial que colocam em risco a integridade do patrimônio geológico. Entre as diversas ações em geoconservação é primordial assegurar a proteção do patrimônio geológico para as próximas gerações e para o aproveitamento de seu potencial em benefício da população (CARCAVILLA, 2012).

Nesse contexto, Brilha (2016) apresentou a revisão metodológica para estratégias de geoconservação, com foco na identificação, proteção e gestão de elementos da geodiversidade de notável valor (Figura 6). Ainda que o autor tenha ampliado a geoconservação para além do patrimônio geológico, nota-se que sua proposta não abarca a geodiversidade de maneira irrestrita e considera como objeto da geoconservação somente os elementos da geodiversidade de valor excepcional.

Figura 6 – Enquadramento conceitual da geodiversidade e patrimônio geológico no escopo da geoconservação



Fonte: Traduzido de Brilha (2018)

Não obstante as pequenas diferenças conceituais ao longo do tempo, as várias concepções de geoconservação têm em comum a premissa de reconhecer que o meio abiótico é tão importante para a conservação da natureza quanto o meio biótico e que os elementos geológicos possuem valores intrínsecos, independentes do uso e de seu papel na sustentabilidade ecológica. As divergências conceituais se concentram no objeto de estudo da geoconservação: ora o amplo espectro da geodiversidade, ora somente os elementos da geodiversidade com algum valor notável (científico, educativo e cultural).

## 2.4 Geoturismo

A abordagem do geoturismo atrelado aos conceitos de geodiversidade e patrimônio geológico é cada vez mais recorrente nos estudos de geoconservação. A temática apresenta crescimento mundial com números cada vez maiores de conferências e artigos científicos, sendo essencial para o desenvolvimento dos Geoparques Mundiais da UNESCO (DOWLING, 2010). Entre diversas possibilidades de ação, o geoturismo viabiliza a promoção do patrimônio geológico, a conservação da geodiversidade e o entendimento das Ciências da Terra (NEWSOME; DOWLING, 2006). Ações práticas de geoturismo têm sido propostas tanto em meio rural (por exemplo: SANCHEZ; GARCIA, 2013; OLAFSDÓTTIR; DOWLING, 2014;) como em meio urbano, associadas ao patrimônio construído (por exemplo: DEL LAMA *et al.*, 2014; RODRIGUES; MACHADO; FREIRE, 2011).

Em uma das referências mais difundidas sobre o tema, Hose (1995, 2000) definiu geoturismo como a provisão de facilidades interpretativas e serviços para promover o valor e os benefícios sociais de lugares e materiais geológicos e geomorfológicos e assegurar sua conservação para uso de estudantes, turistas e outras pessoas com interesse recreativo e de lazer. O autor caracterizou o geoturismo como ação para além da apreciação estética da paisagem, sendo criadas possibilidades de aprendizado e interação com o local visitado.

O geoturismo desenvolve-se como turismo sustentável fundamentado na identificação, conservação e promoção do patrimônio natural abiótico, com foco nas características geológicas e geomorfológicas do território, a fim de promover a compreensão ambiental e cultural e trazer benefícios para as comunidades locais (NASCIMENTO *et al.*, 2007; DOWLING, 2010). É uma modalidade de turismo que busca atender um nicho turístico interessado na compreensão da natureza e se utiliza dos aspectos culturais do território a partir de sua relação com a geodiversidade (PEREIRA, 2010a).

A *National Geographic Society*, em trabalho de Stueve *et al.* (2002), conceituou o geoturismo de maneira mais ampla, sem relação específica com os elementos geológicos, mas considerando também o meio ambiente, a cultura, patrimônios e bem-estar da população de forma a sustentar e/ou impulsionar o senso geográfico de um lugar, e propôs algumas diretrizes que consideram desde a conservação do território, a participação e o benefício das comunidades locais até a satisfação dos visitantes. A Declaração de Arouca promulgada durante o Congresso Internacional de Geoturismo de 2011, no território do Arouca Geopark-Portugal, foi diretamente influenciada por tais diretrizes:

O geoturismo deve ser definido como o turismo que sustenta e incrementa a identidade de um território, considerando a sua geologia, ambiente, cultura, valores estéticos, património e o bem-estar dos seus residentes. O turismo geológico assume-se como uma das diversas componentes do geoturismo (AROUCA, 2011).

Destaca-se que a Declaração aponta o turismo geológico como uma componente do geoturismo, responsável pela valorização e conservação do património geológico.

Durante análise sobre as diferentes concepções e ações direcionadas ao geoturismo, Newsome e Dowling (2018) identificaram duas linhas ligeiramente distintas, sintetizadas pela compreensão do vocábulo “*geo*”, ora como elemento geológico, ora como espaço geográfico. A primeira considera a geodiversidade como base do geoturismo e, apesar de utilizar elementos culturais e buscar a sustentabilidade, tem como objetivo principal a promoção e a conservação do património geológico. A segunda tem o território como base do geoturismo, considerando também os aspectos naturais e sociais em busca de incrementar a economia e a qualidade de vida das comunidades locais.

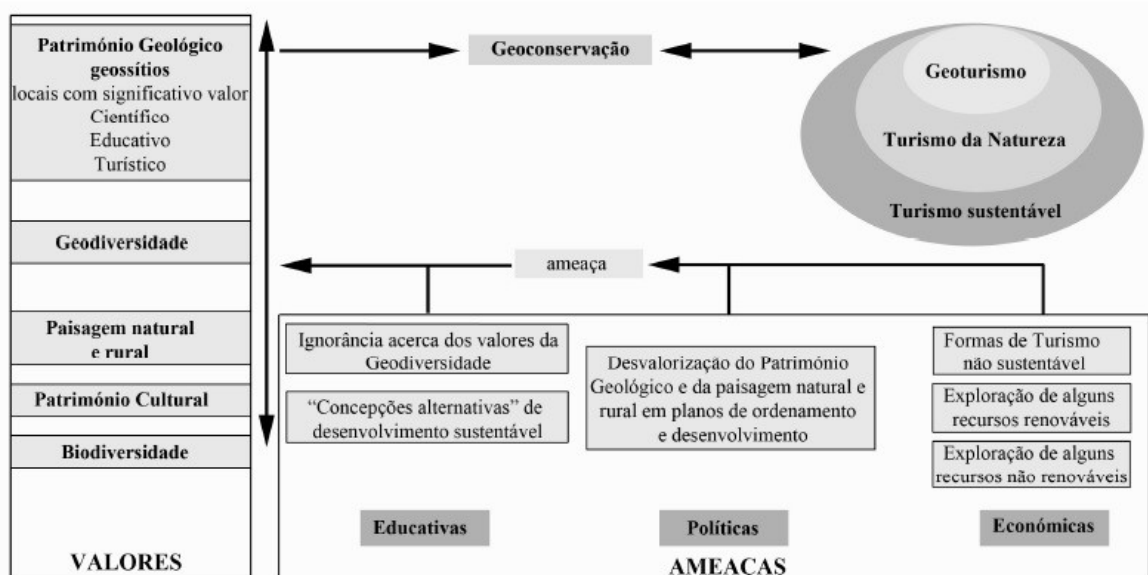
Na tentativa de unificar as diferentes definições, embora ainda predomine o conceito geológico mais restrito, os autores supracitados definiram o geoturismo como “atividade turística que se utiliza dos elementos geológicos e da paisagem de uma determinada área como base para o turismo sustentável e que acarreta benefícios para a conservação, para as comunidades locais e para a economia”. Por outro lado, Martini *et al.* (2012) defenderam o geoturismo como conceito amplo de maneira a atingir um número maior de pessoas, uma vez que o público interessado especificamente em geologia não seria suficiente para tornar a atividade economicamente sustentável. Os autores também justificam que o sentido amplo do geoturismo permite delinear as relações entre a geodiversidade, biodiversidade e aspectos

culturais, o que tornaria as práticas de geoturismo mais atrativas e facilitaria o entendimento da geologia para o público leigo.

O geoturismo representa uma nova temática da turismologia (NASCIMENTO *et al.*, 2007; MOREIRA, 2010; PEREIRA, 2010a; NEWSOME; DOWLING, 2018), que devido ao seu caráter multidisciplinar, estabelece uma relação simbiótica com a geoconservação. Enquanto a geoconservação contribui no inventário, nos métodos de conservação e na interpretação do patrimônio natural, entre outras possibilidades, o geoturismo é instrumento para disseminar valores que impulsionem as estratégias de geoconservação e desenvolvimento sustentável, conforme proposto por Moreira (2010); Martini *et al.* (2012); Nascimento, Mansur e Moreira (2015), entre outros.

Como toda atividade econômica, práticas de geoturismo construídas sem bases sólidas de sustentabilidade podem acarretar impactos negativos sobre a geodiversidade, como a coleta de amostras para colecionismo ou visitação desordenada. Pereira (2010a) apresenta exemplos destas possíveis ameaças, além de algumas relações e valores associados ao geoturismo (Figura 7). Destaca-se em sua síntese, a inserção do geoturismo dentro do ramo de turismo sustentável e a importância dos valores biológicos e culturais na construção dos projetos de geoturismo.

Figura 7 - Quadro conceitual de valores, ameaças e relações sobre geoturismo



Fonte: Pereira (2010a)

Considerando as diversas definições apresentadas, o geoturismo é aqui entendido como atividade de turismo sustentável com base nos elementos da geodiversidade, que permite conservar o patrimônio geológico e beneficiar as populações locais, destinado para um público

interessado em experiências que possibilitem a aprendizagem e compreensão da natureza para além da apreciação estética e recreação.

## 2.5 Geoparques

Geoparques são territórios únicos com patrimônio geológico de relevância internacional, administrados com base em um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2016). Devem ter limites territoriais bem definidos, com tamanho suficiente para possibilitar o desenvolvimento econômico e apresentam entre seus objetivos o incentivo ao desenvolvimento econômico sustentável, a conservação e a gestão do patrimônio geológico, a promoção da geodiversidade, melhorias socioeconômicas para as comunidades locais e cooperação com outros geoparques (MC KEEVER; ZOUROS, 2005)

O conceito de geoparque foi delineado no final dos anos de 1980, em resposta à ausência de reconhecimento e proteção ao patrimônio geológico nos diversos programas para ciência e conservação do meio ambiente promulgados pela UNESCO nos anos anteriores (BRILHA, 2018b). Desde então, o conceito emergiu como estratégia de ordenamento territorial, utilizando-se do envolvimento das comunidades locais para atrelar a conservação do patrimônio geológico, educação e o desenvolvimento econômico (ZOUROS, 2004).

Embora os geoparques estejam fundamentados na presença de patrimônio geológico, a associação com valores culturais e abordagem holística considerando os diversos aspectos do território são fundamentais para a construção de estratégias de geoconservação bem-sucedidas (MARTINI, 2009). O forte envolvimento dos atores locais, além do comprometimento dos gestores públicos e da colaboração com empreendedores também se apresentam como fatores essenciais para a constituição dos geoparques como iniciativa de desenvolvimento social (LIMA; SCCHOBENHAUS; NASCIMENTO, 2016).

Ao longo dos anos, os geoparques configuraram-se como importantes aliados no ensino de geociências, seja por propiciar a conservação dos geossítios, seja por promover ações educativas, com desenvolvimento de material didático e oferta de guias especializados (BRILHA, 2009). Paralelamente, as atividades de geoturismo têm sido utilizadas para impulsionar o desenvolvimento econômico local com geração de novas oportunidades de trabalho e fomento da produção de artesanatos e produtos locais - geoprodutos (FARSANI; COELHO; COSTA, 2011) (Figura 8).



Figura 8. Atividades e geoprodutos em Geoparques Mundiais da UNESCO



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Exemplo de atividade educativa no território do Geoparque Açores (maio de 2017). b) Saída geológica oferecida pelo Geoparque da Costa Basca, como exemplo de atividade de geoturismo (julho de 2017). c) Biscoitos em forma de trilobita do Arouca Geopark e d) Guloseimas com o aspecto das rochas vulcânicas encontradas no território do Sakurajima-Kinkowan Geopark, ambos exemplos de geoprodutos.

Os primeiros geoparques foram originados na Europa e se uniram no ano 2000 para a criação da Rede Europeia de Geoparques (EGN): *Réserve Géologique de Haute-Provence* (França), *Lesvos Petrified Forest* (Grécia), *Maestrazgo Cultural Park* (Espanha) e *Vulkaneifel* (Alemanha). A partir desta estrutura, a Rede Global de Geoparques (GGN) foi criada em 2004 sob a tutela da UNESCO. Contudo, somente em 2015 os geoparques passaram a integrar um programa específico da UNESCO, nomeadamente o Programa Internacional de Geociências e Geoparques (IGGP) e, a partir desse momento, os geoparques receberam a denominação de *UNESCO GLOBAL GEOPARKS* (UGG). Além da EGN, outras duas redes regionais de geoparques foram criadas na última década: Rede de Geoparques Mundiais da Ásia-Pacífico (2007) e Rede de Geoparques Mundiais da América Latina e Caribe (2017). Atualmente, a GGN é formada por 140 UGGs presentes em 38 países.

O Brasil possui o primeiro geoparque das Américas, criado em 2006 no interior do estado do Ceará. O Geopark Araripe (Figura 9) é fruto da parceria entre a Universidade Regional do Cariri (URCA) e o Governo do Estado do Ceará (VILAS-BOAS; BRILHA; LIMA, 2013). Seu território abrange 3796 km<sup>2</sup> de área nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri e possui como patrimônio geológico a

extensa bacia sedimentar do Araripe, detentora de um dos mais significativos depósitos fossilíferos cretáceos do mundo (MARTILL, 2007).

Figura 9. Elementos do Geopark Araripe



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Identidade visual do Geopark Araripe (Fonte: <http://geoparkararipe.org.br/>). b) Exemplar fóssil de *Dastilbe crandalli* de 112 Ma, proveniente da Formação Santana, Membro Crato, coletado no território do Geopark Araripe. c) Aspecto geral do Geosítio Cachoeira de Missão Velha. d) Exemplo de painel do Geosítio Pedra Cariri.

Na tentativa de induzir a criação de geoparques em território nacional, a CPRM desenvolve desde 2006 o projeto Geoparques do Brasil, com o objetivo de identificar e traçar um diagnóstico de áreas com potencial para futuros geoparques (SCHOBENHAUS; SILVA, 2012). O projeto já resultou em 28 propostas com enfoque na caracterização da geologia e do patrimônio geológico, contudo, sem uma abordagem mais profunda sobre os aspectos territoriais e socioeconômicos, tampouco sobre a participação das comunidades locais na concepção dos geoparques.

## 2.6 Considerações sobre a geoconservação no Nordeste do Brasil

Na região Nordeste do Brasil, pesquisas em geoconservação têm sido desenvolvidas desde que os primeiros trabalhos acadêmicos na temática despontaram em território nacional,

principalmente no que se refere à proposição do geoturismo como alternativa de desenvolvimento sustentável, tais como Cordeiro e Bastos (2014), França (2015) e Santos (2016). De acordo com Ruchkys *et al.* (2017), a primeira dissertação de mestrado em geoconservação defendida no país (MEDEIROS, 2003) teve como objeto de estudo a região do Seridó, no Rio Grande do Norte. Entre os trabalhos pioneiros na região, destacam-se os estudos de Barreto (2007) e Pereira (2010b), ambos na região da Chapada Diamantina, Bahia.

O Geopark Araripe, no estado do Ceará, é um importante marco da geoconservação para a região, como também para a América Latina. Além do papel indutor da temática, a experiência em práticas geoconservacionistas no território do geoparque tem sido aplicada na discussão e implementação de outras propostas de geoparques no país, tais como Seridó (RN), Cariri Paraibano (PB), Morro do Chapéu (BA), Serra do Sincorá (BA) e Fernando de Noronha (PE). Nesta linha, Schobbenhaus e Silva (2012) identificaram 12 áreas para a proposição de geoparques no Nordeste do Brasil, sendo que a proposta Vale Monumental está inserida na área de desenvolvimento desta tese (Tabela 3). Embora as propostas não estejam adequadas em relação às exigências dos Geoparques Mundiais da UNESCO, elas caracterizam importantes geossítios da região.

Tabela 3 - Propostas do Projeto Geoparques (CPRM) para o nordeste do Brasil

<b>Proposta</b>	<b>Categoria Principal</b>
Morro do Chapéu (BA)	Estratigráfico, espeleológico, arqueológico
Fernando de Noronha (PE)	Ígneo, beleza cênica
Seridó (RN)	Estratigráfico, ígneo, geomorfológico, metalogenético, histórico-cultural
Serra da Capivara (PI)	Estratigráfico, arqueológico
Catimbau-Pedra Furada (PE)	Estratigráfico, paleoambiental, geomorfológico, ígneo, arqueológico
Sete Cidades-Pedro II (PI)	Geomorfológico, paleoambiental, mineralógico, beleza cênica
Serra do Sincorá* (BA)	Geomorfológico, paleoambiental, beleza cênica, histórico-cultural
Litoral Sul de Pernambuco (PE)	Ígneo, estratigráfico, beleza cênica, histórico-cultural
Rio de Contas (BA)	Estratigráfico, geomorfológico, histórico
Cânion São Francisco (SE/AL)	Geomorfológico, beleza cênica
Rio do Peixe (PB)	Paleontológico, estratigráfico
Vale Monumental (CE)	Geomorfológico, ígneo, beleza cênica

Fonte: Modificado de Schobbenhaus e Silva (2012). \* Denominação atual da proposta Chapada Diamantina.

O desenvolvimento de pesquisas em geoconservação em áreas protegidas também tem sido recorrente na região, principalmente nos parques nacionais. Estes trabalhos abordam

a geoconservação como fonte indutora do turismo e da divulgação e interpretação do patrimônio geológico destas áreas. Nesta linha, seguem como exemplos: a avaliação do geoturismo como nucleador do desenvolvimento local com base no patrimônio geológico do Parque Nacional de Sete Cidades (LOPES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2013); o inventário do patrimônio geológico do Parque Nacional de Jericoacoara (MEIRA; MORAIS 2016); e o inventário de sítios geológicos do Parque Nacional da Serra da Capivara (PROCHOROFF; BRILHA, 2015).

No que diz respeito aos inventários do patrimônio geológico, a avaliação realizada por Romão e Garcia (2017) para o período entre 2007 e 2016 indicou que cerca de 40% das iniciativas brasileiras contemplaram áreas localizadas na região nordeste. Estes inventários foram realizados, predominantemente, em municípios com IDHM entre baixo e médio e localizados no interior dos estados nordestinos (Tabela 4).

Tabela 4 - Inventários do Patrimônio Geológico realizados na região nordeste do Brasil entre 2007 e 2016 e respectivos índices de desenvolvimento humano municipal (IDHM)

<b>Autor</b>	<b>Município e/ou Região</b>	<b>IDHM (mín. e máx.)</b>
Pereira (2010b)	Chapada Diamantina/BA (23 mun.)	0,569 e 0,681
Santos (2010)	Nordestina/BA	0,560
Bem (2011)	Ipojuca/PE*	0,619
Santos (2012)	Bonito/PE	0,561
Ponciano <i>et al.</i> (2012)	Bacia do Parnaíba/PI (5 municípios)	0,541 e 0,698
Guimarães <i>et al.</i> (2012)	Parque Estadual da Pedra da Boca/PB	0,567
Rocha & Pedreira (2012)	Morro do Chapéu/BA	0,588
Wildner, Ferreira (2012)	Fernando de Noronha/PE*	0,788
Nascimento, Ferreira (2012) Almeida (2016)	Geoparque Seridó/RN (6 municípios)	0,585 e 0,691
Barros <i>et al.</i> (2012)	Serra da Capivara/PI (4 municípios)	0,546 e 0,661
Nascimento <i>et al.</i> (2012)	Litoral Sul de Pernambuco/PE*(5 mun.)	0,596 e 0,707
Lopes <i>et al.</i> (2013)	Parque Nacional das Sete Cidades/PI	0,577 e 0,596
Cardoso (2013)	Geoparque Seridó/RN (6 municípios)	0,585 e 0,691
Silva (2015)	Gurjão/PB	0,625
França (2015)	Lagoa dos Gatos/PE	0,551
Santos <i>et al.</i> (2016)	Aparecida, Sousa e São João do Rio do Peixe/PB	0,578 e 0,668
Pinto (2015)	Salvador/BA*	0,759
Meira (2017)	Parque Nacional de Jericoacoara/CE*	0,652
Santos (2016)	Região do Agreste Pernambucano/PE	0,487 e 0,699
Ferreira <i>et al.</i> (2016)	Piranhas, Olho D'água do Casado e Delmiro Gouveia/AL, Canindé de São Francisco e Poço Redondo/SE	0,525 e 0,612
Albani <i>et al.</i> (2016)	João Dourado/BA	0,593
Moura <i>et al.</i> (2017)	Domínio Ceará Central/CE* (29 mun.)	0,562 e 0,754

Fonte: Elaborado pela autora com dados de Romão e Garcia (2017) e PNUD (2013). Legenda: IDHM baixo (entre 0,500 e 0,599), moderado (entre 0,600 e 0,699) e alto (entre 0,700 e 0,799). \*áreas litorâneas ou com pelo menos um município com IDHM alto.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

No que concerne ao estudo da geoconservação, os métodos comumente adotados convergem em etapas sequenciais para caracterização, avaliação, proteção e promoção, o qual convencionou-se chamar de estratégias de geoconservação. O método proposto por Brilha (2005), norteador para a execução deste estudo, é estruturado em seis etapas: Inventário, Avaliação Quantitativa, Enquadramento Legal, Conservação, Valorização e Divulgação e Monitoramento. Com base nos procedimentos iniciais (inventário, avaliação quantitativa e enquadramento legal), este estudo desenvolveu o diagnóstico dos sítios geológicos e a partir destas informações, delineou propostas de conservação, valorização e divulgação dos sítios geológicos. A síntese dos procedimentos adotados é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Síntese dos procedimentos adotados e resultados gerais de cada uma das etapas sequencias aplicadas, com base nas etapas de geoconservação de Brilha (2005)

	Pré-Campo	Campo	Pós-Campo
<b>Inventário</b>			
Procedimento	Revisão bibliográfica Análise de mapas Consulta com especialistas (UFC, UNICAMP e CPRM, entre outros)	Avaliação qualitativa <i>in situ</i> , documentação e registro fotográfico dos potenciais sítios geológicos	Organização e análise dos dados coletados em campo
Resultado	Definição das categorias geológicas temáticas e lista de potenciais sítios geológicos	Caracterização dos potenciais sítios geológicos	Lista final dos sítios geológicos
<b>Avaliação Quantitativa</b>			
Procedimento	Revisão bibliográfica e avaliação dos métodos de quantificação disponíveis	-	Avaliação quantitativa do valor científico, risco de degradação, potencial de uso educativo e turístico e das prioridades de proteção
Resultado	Seleção do método integrado da plataforma <i>GEOSSIT</i> para avaliação dos sítios geológicos	-	Classificação dos sítios entre geossítios e sítios de geodiversidade, caracterização das situações de risco, propostas de uso dos sítios geológicos e ajuste no método de avaliação das prioridades de proteção

Enquadramento Legal			
Procedimento	Revisão bibliográfica da legislação brasileira pertinente a conservação	Avaliação <i>in situ</i> do atual estado de proteção dos sítios geológicos localizados em áreas legalmente protegidas	Análise do enquadramento legal dos sítios geológicos
Resultado	Seleção dos estatutos legais a serem considerados na avaliação dos sítios geológicos	-	Enquadramento e sugestões para a proteção legal dos sítios geológicos

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1. Revisão bibliográfica e materiais consultados

A revisão bibliográfica como etapa essencial em qualquer pesquisa científica, se faz ainda mais necessária no processo de desenvolvimento de inventários do patrimônio geológico com enfoque no valor científico. Ao longo do desenvolvimento da tese foram consultados artigos científicos, teses, dissertações e monografias de graduação, além de relatórios técnicos de mapeamentos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil e resumos apresentados em eventos científicos, que serviram de base para a seleção dos geossítios. Além disso, realizou-se também a consulta tradicional ao marco conceitual pertinente ao tema de estudo e caracterização geológica e geomorfológica da área de interesse.

Para a análise e interpretação do território utilizou-se como base o Mapa Geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000, de Cavalcante *et al.* (2003); o Mapa de Geodiversidade do Estado do Ceará, escala 1:1.000.000, de Brandão e Freitas (2014), que contempla distintas informações a respeito do território, como unidades de relevo, solos, paisagens e recursos hídricos.

A análise do enquadramento legal dos sítios geológicos foi realizada considerando o arcabouço legal brasileiro. Entre os diversos estatutos legais consultados, destacam-se as seguintes legislações:

- Constituição Federal de 1988: Artigos 20, 23 e 216;
- Sistema Nacional das Unidades de Conservação: Lei Federal nº 9.985 de 2000;
- Código Florestal Brasileiro: Lei Federal nº 12.651 de 2012;
- Lei para a Proteção das Cavidades Naturais Subterrâneas: Lei Federal nº 99.556 de 1990 e Decreto 6.640 de 2008;

- Lei para a Proteção do Patrimônio Histórico-Artístico Nacional: Lei Federal nº 25 de 1937.

### **3.2. Levantamento de dados preliminares**

De acordo com o método utilizado para o inventário do patrimônio geológico em áreas extensas, a definição das categorias geológicas temáticas é a primeira etapa de estudo a ser desenvolvida durante a pesquisa. Estas categorias foram definidas com base na revisão bibliográfica, análise de mapas e por meio de consultas com especialistas na área de estudo. Com as categorias definidas, foi elaborada uma lista de potenciais geossítios considerando os resultados da pesquisa bibliográfica e de uma nova consulta com pesquisadores atuantes na região de estudo. Os métodos específicos utilizados nesta etapa da pesquisa são descritos no Apêndice A.

### **3.3. Atividades de campo e avaliação qualitativa dos sítios geológicos**

A avaliação *in situ* dos sítios geológicos é etapa essencial na caracterização do patrimônio geológico de uma determinada região. Esta ação é necessária para comparar as observações de campo com as informações obtidas durante a revisão bibliográfica e para obter informações adicionais que confirmem o valor excepcional dos sítios avaliados. No decorrer deste trabalho, as atividades de campo foram realizadas em 2 etapas principais, em julho de 2015 e fevereiro de 2016, e cinco etapas complementares entre o segundo semestre de 2015 e o segundo semestre de 2018.

Durante a execução dos campos, os sítios geológicos foram descritos, caracterizados e avaliados *in situ*, considerando a descrição geológica tradicional do afloramento, a avaliação da tipologia - quanto às dimensões, a obtenção de coordenadas georreferenciadas, documentação fotográfica, avaliação das condições de acesso, informações sobre o regime de propriedade, avaliação das condições de fragilidade e vulnerabilidade e avaliação do entorno quanto a existência de elementos de interesse não geológico, como conteúdos arqueológicos, ecológicos ou culturais.

Os dados da avaliação *in situ* foram comparados com os dados bibliográficos para complementar a descrição e caracterização dos sítios geológicos. Os sítios geológicos que não se adequaram aos aspectos avaliados (representatividade, raridade, integridade e conhecimento

científico) foram descartados. Os métodos específicos utilizados nesta etapa da pesquisa são apresentados no Apêndice A.

### **3.4. Avaliação Quantitativa e diagnóstico do patrimônio geológico**

Com os dados da revisão bibliográfica e da avaliação qualitativa *in situ*, 52 sítios geológicos foram submetidos à avaliação quantitativa do valor científico, risco de degradação e potencial uso educativo e turístico e prioridades de proteção. Para esta avaliação foi utilizado o método integrado de avaliação quantitativa da plataforma *GEOSSIT* do Serviço Geológico do Brasil, baseado em Garcia-Cortéz e Carcavilla (2009) e Brilha (2016). A descrição dos métodos de avaliação quantitativa é apresentada no Apêndice B. A descrição detalhada dos parâmetros e critérios adotados na avaliação quantitativa conforme a plataforma *GEOSSIT* é apresentada no Anexo A.

Posteriormente, 06 sítios de geodiversidade foram analisados para o território Sertão Central, seguindo o mesmo procedimento metodológico. Os resultados obtidos foram utilizados para fundamentar as propostas detalhadas de geoconservação no Sertão Central.



#### **4. CONSERVAÇÃO DE GEOSSÍTIOS COMO INSTRUMENTO PARA A PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO: O INVENTÁRIO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, PROVÍNCIA BORBOREMA, NE/BRASIL**

O Domínio Ceará Central, nordeste da Província Borborema, abriga importantes registros que permitem compreender um período importante da evolução geológica da Terra, principalmente relacionados ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano e ao paleocontinente Gondwana. O Inventário aqui apresentado tem por objetivo caracterizar o patrimônio geológico de relevância científica do Domínio, com base em geossítios que foram objetos de recentes pesquisas científicas. A partir do método para áreas extensas, a seleção final resultou em 52 geossítios distribuídos em oito categorias geológicas, documentadas em um único banco de dados. Este estudo representa a primeira e essencial etapa para estratégias de geoconservação fundamentadas no desenvolvimento de inventários sistemáticos, no arcabouço legal, em preceitos geoéticos e no reconhecimento da relevância científica, educacional e cultural do patrimônio geológico.

**Palavras-chave:** Geoconservação. Inventário. Patrimônio geológico. Província Borborema. Brasil.

Os resultados e conclusões obtidos no desenvolvimento do inventário foram publicados no periódico Anais da Academia Brasileira de Ciências, volume 89, número 4, de 2017, disponível em <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v89n4/0001-3765-aabc-89-04-02625.pdf>. O artigo publicado consta no Apêndice A. A descrição detalhada dos geossítios e dos sítios de geodiversidade é apresentada nos Apêndices C e D.

## **5 IDENTIFICAÇÃO DE SÍTIOS GEOLÓGICOS PARA GESTÃO PRIORITÁRIA: PROPOSTAS PARA A GEOCONSERVAÇÃO NO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, NORDESTE DO BRASIL**

A avaliação quantitativa de valoração do patrimônio geológico tem se demonstrado uma relevante ferramenta para delinear estratégias de geoconservação, sobretudo em áreas extensas e com escassez de recursos. A área selecionada para este estudo corresponde a uma região socioeconomicamente vulnerável no semiárido do estado do Ceará, nordeste do Brasil, e contempla um conjunto de 52 sítios geológicos representativos da evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central. Com o intuito de delinear estratégias de geoconservação pertinentes a realidade local, este trabalho teve por objetivo identificar quais os geossítios prioritários no plano de gestão. Para tanto, foi utilizado o método de avaliação quantitativa integrado na plataforma *GEOSSIT* do Serviço Geológico do Brasil, tendo sido avaliado o valor científico, o risco de degradação, o potencial uso educativo e turístico e as prioridades de proteção. Os resultados indicaram que os sítios geológicos inventariados possuem alto valor científico, que existe predominância de sítios geológicos com risco moderado de degradação e predomínio de valores medianos para o potencial uso educativo e turístico. Três listas de sítios prioritários foram definidas, considerando apenas os locais com alto valor científico e potencial uso relevante. No final, foi possível identificar e justificar quatro territórios estratégicos para a geoconservação na porção centro-norte do Domínio Ceará Central.

**Palavras-chave:** Patrimônio geológico. Geossítios. Sítios de geodiversidade. GEOSSIT.

Os resultados e conclusões obtidos na avaliação quantitativa dos sítios geológicos do DCC são apresentados no Apêndice B e foram publicados no periódico Anuário do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, volume 41, número 2, de 2018, disponível em <[http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2018\\_2/2018\\_2\\_252\\_267.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2018_2/2018_2_252_267.pdf)>. As tabelas utilizadas para a avaliação quantitativa são apresentadas no Anexo A.

## 6. DIRETRIZES PARA A GEOCONSERVAÇÃO NO SERTÃO CENTRAL CEARENSE

A conservação dos elementos naturais busca o ordenamento do território e o uso sustentável, sobretudo direcionados para práticas educativas e para o geoturismo (Figura 10). Para a geoconservação, o conjunto destas ações tem em vista a proteção, o acesso do público ao patrimônio geológico (BRILHA, 2005) e o aproveitamento de seu potencial em benefício das comunidades locais (CARCAVILLA, 2012).

Figura 10 - Relação entre os elementos conceituais que compõem o plano de geoconservação para a área de estudo



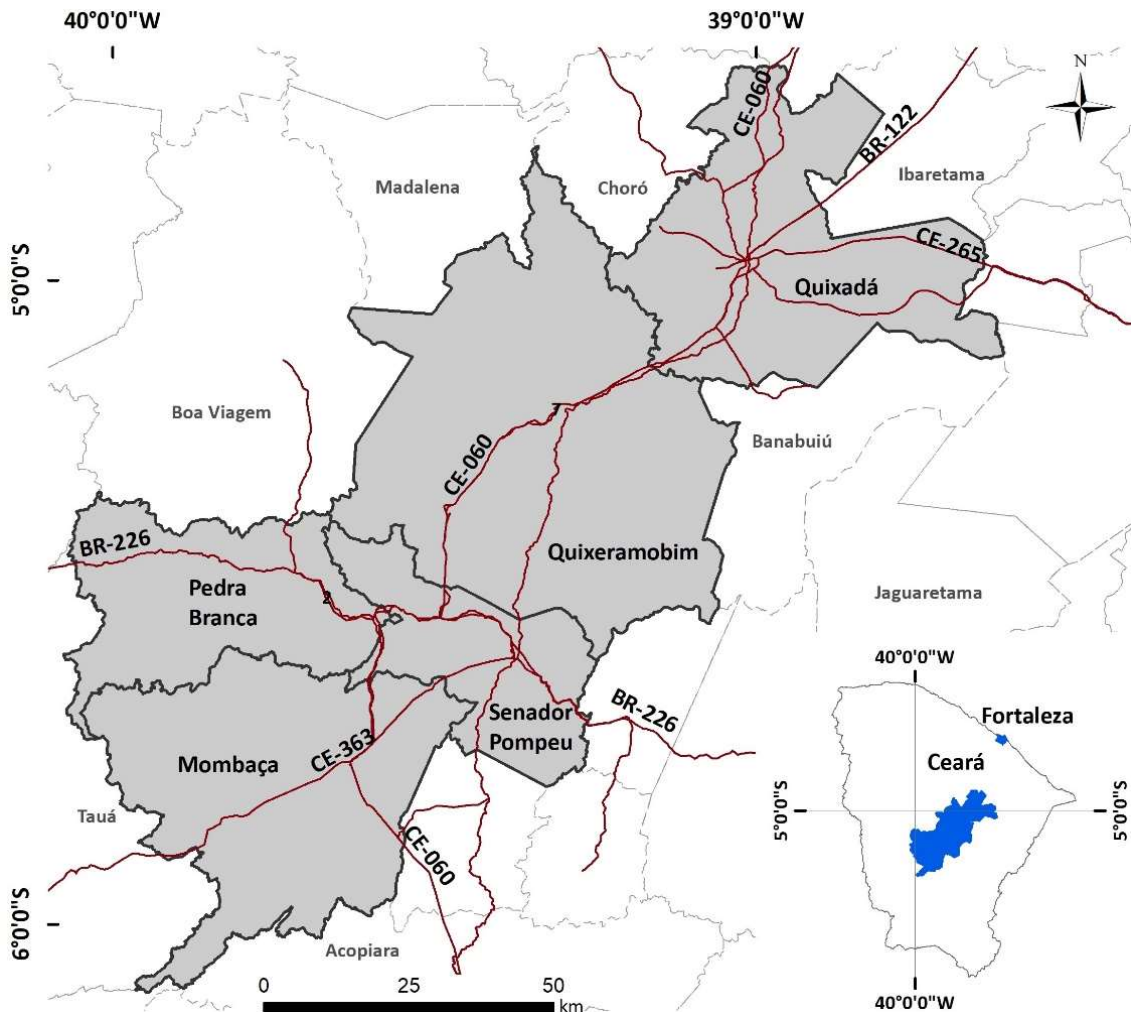
Fonte: Elaborado pela autora

Nesta etapa de estudo buscou-se delinear um modelo de geoconservação a partir do diagnóstico dos sítios geológicos, considerando sua vulnerabilidade e fragilidade e os aspectos culturais do território. Uma vez que o Domínio Ceará Central representa uma área muito extensa, selecionou-se uma das áreas que foram delimitadas no Capítulo 5 (com base nos resultados da avaliação quantitativa, na avaliação das prioridades de proteção e nas regiões de planejamento do estado do Ceará, conforme da Lei Estadual nº 154/2015).

Entre as quatro áreas (Litoral Oeste, Sertão de Canindé, Sertão Central e Sertão de Sobral), o Sertão Central foi escolhido por apresentar fluxo e alguma infraestrutura turística em função do turismo religioso local, conforme apontado por Rabelo *et al.* (2016). Além disso, apresenta grande interesse paisagístico relacionado aos inselbergues cristalinos, atraindo público interessado em turismo de natureza, particularmente no município de Quixadá.

A área de estudo é composta pelos municípios de Mombaça, Pedra Branca, Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu, municípios integrantes do Sertão Central cearense<sup>2</sup> (Figura 11). Estes municípios perfazem cerca de 9720 km<sup>2</sup>, onde residem aproximadamente 260 mil habitantes. Da população total, 39% reside em zonas rurais e 66% apresenta condições socioeconômicas de vulnerabilidade a pobreza (PNUD, 2013).

Figura 11. Municípios do Sertão Central que compõem a área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora

<sup>2</sup> De acordo com a Lei Complementar nº 154 de 2015, que define as regiões do Estado do Ceará e suas composições de município para fins de planejamento, a região Sertão Central é composta pelos municípios: Banabuiú, Choró, Deputado Irapuã Pinheiro, Ibareta, Ibicuitinga, Milhã, Mombaça, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Quixadá, Quixeramobim, Senador Pompeu e Solonópole.

## 6.1 Diagnóstico dos sítios geológicos no processo de conservação

A conservação do patrimônio geológico parte da análise do uso potencial ou pretendido dos sítios geológicos, nas características naturais e recursos disponíveis e no risco de degradação, considerando as ameaças naturais e antrópicas, e a sensibilidade dos geossítios frente a essas ameaças (PROSSER; DÍAZ-MARTINEZ; LARWOOD, 2018). Assim, o plano adequado de conservação depende do inventário sistemático de geossítios e sítios de geodiversidade e da avaliação quantitativa dos valores, riscos e potencialidades.

O patrimônio geológico e a geodiversidade do Sertão Central encontram-se representados em um conjunto de 20 sítios geológicos, sendo 12 geossítios e 08 sítios de geodiversidade. Seis dos sítios de geodiversidade foram inventariados nesta etapa do trabalho, a fim de ampliar as possibilidades de geoturismo na região: Gruta de São Francisco de Assis, Lagoa do Fofô, Lagoa dos Monólitos, Pedra da Baleia, Pedra dos Ventos e Serra do Urucum. Estes novos sítios estão descritos no Apêndice D.

O conjunto dos sítios geológicos do Sertão Central apresenta conteúdo geocronológico (2), geodinâmico (1), geomorfológico (7), ígneo (3), metamórfico (3), mineralógico (1) e tectônico (3). A classificação quanto à dimensão dos sítios é apresentada na Figura 12.

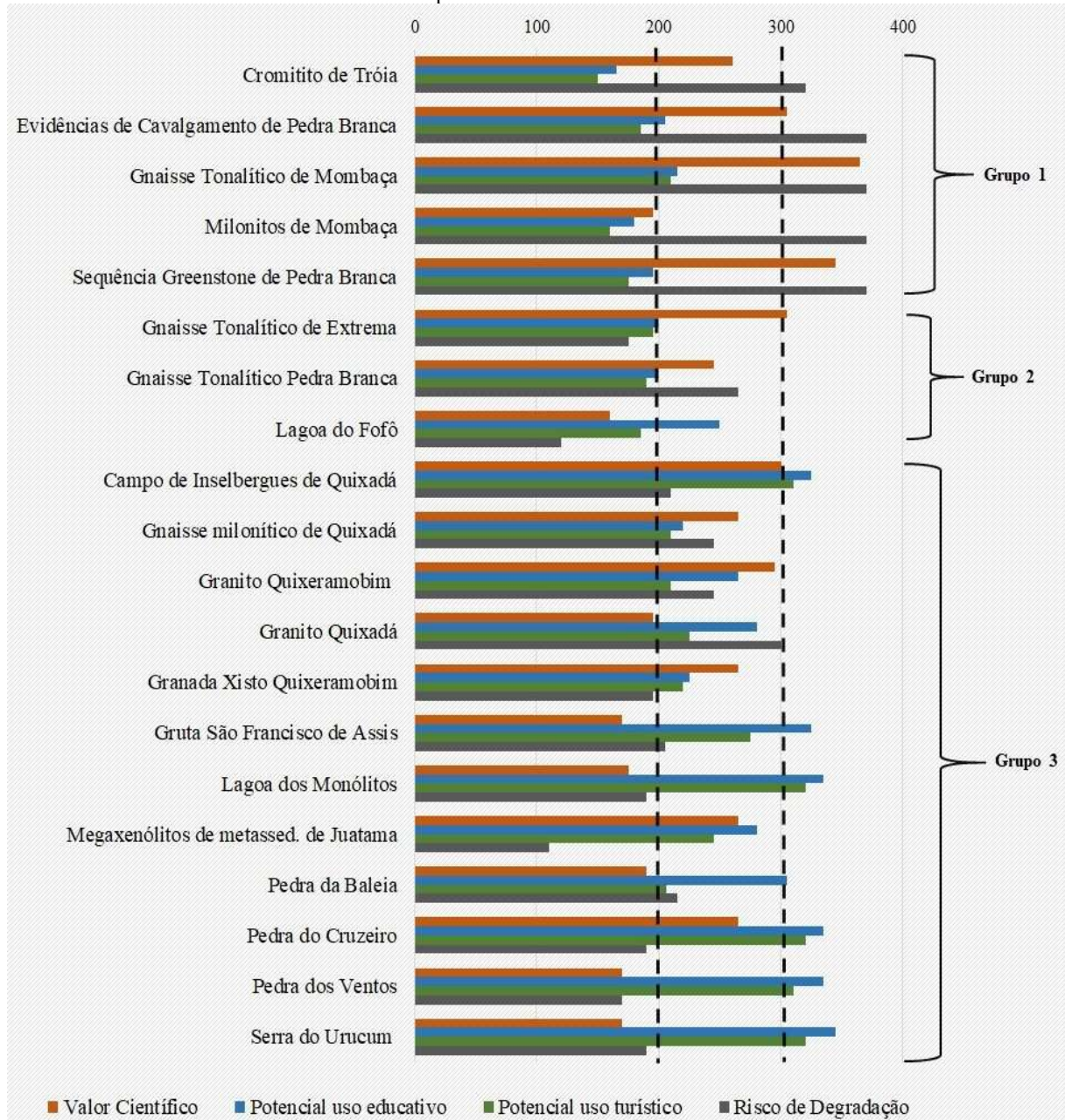
Figura 12 – Classificação das tipologias dos sítios geológicos do Sertão Central, conforme Fuertes-Gutiérrez e Fernández-Martínez (2010)



Fonte: Elaborado pela autora

Todos os sítios foram avaliados na plataforma *GEOSSIT* quanto ao valor científico (vc), risco de degradação (rd) e potencial uso educativo (pue) e turístico (put) (Figura 13).

Figura 13 - Sítios geológicos do Sertão Central e síntese dos resultados da avaliação quantitativa realizada na plataforma *GEOSSIT*



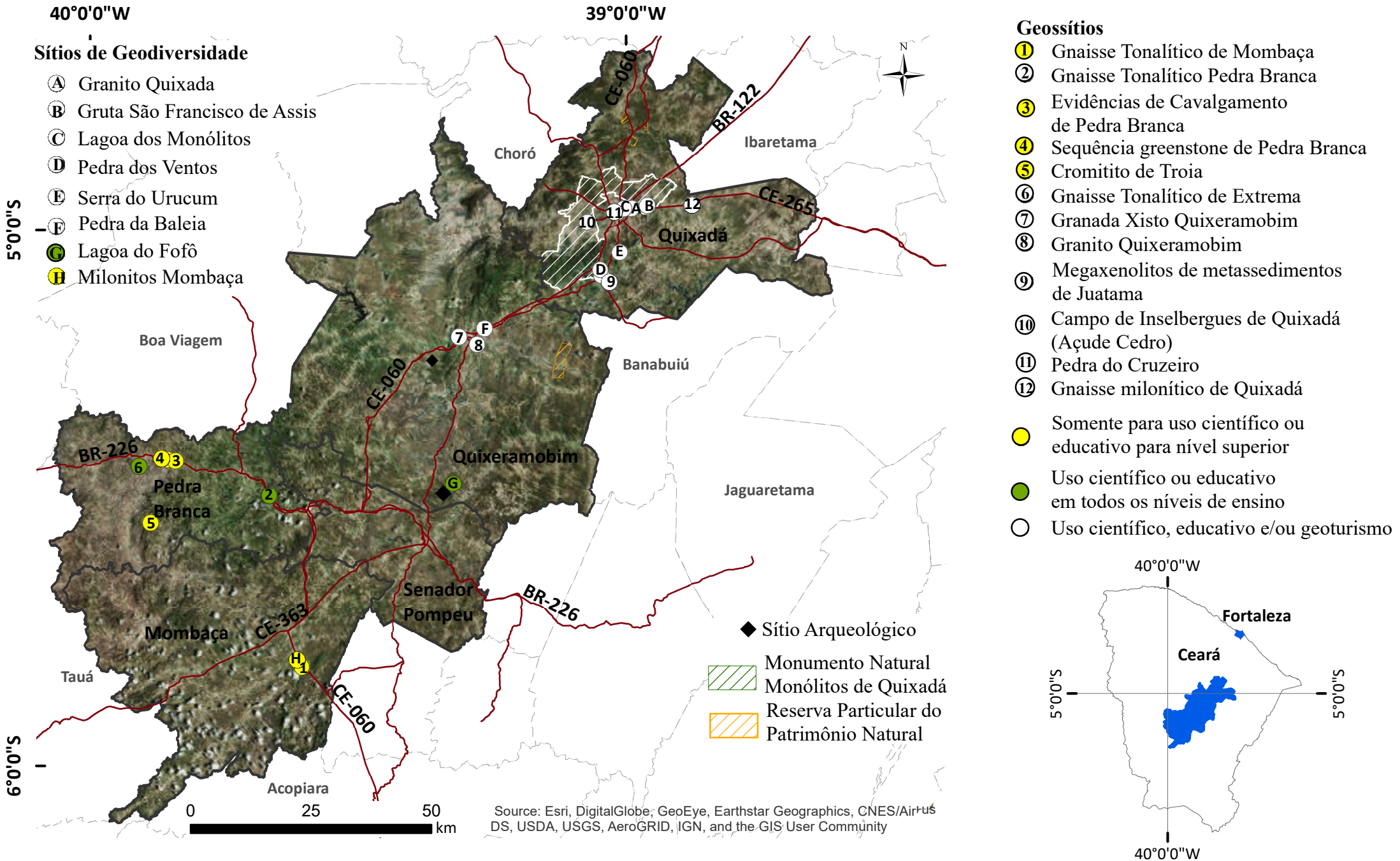
Fonte: Elaborado pela autora. Os resultados da avaliação quantitativa foram extraídos do Capítulo 5, com exceção dos 6 sítios geológicos avaliados nesta etapa do trabalho. As linhas hachuradas indicam os intervalos do risco de degradação: <200 (baixo), entre 200 e 300 (moderado) e > 300 (alto).

Com base nos resultados apresentados, os sítios geológicos foram organizados em grupos de uso, a fim de garantir seu melhor aproveitamento e proteção da integridade física do afloramento e de seus conteúdos associados:

- Grupo 1 - Os sítios geológicos com alto risco de degradação foram destinados somente para uso científico ou educativo em nível superior: Gnaisse Tonalítico de Mombaça (370rd), Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca (370rd), Sequência tipo *Greenstone* de Pedra Branca (370rd), Cromitito de Tróia (320rd) e Milonitos Mombaça (370rd);
- Grupo 2 - Os sítios que apresentaram baixo potencial para uso turístico, mas que possuem potencial para uso educativo e baixo ou moderado risco de degradação foram recomendados para uso científico e educativo em todos os níveis de ensino (considerando as especificidades do potencial didático): Gnaisse Tonalítico Pedra Branca (200pue/265rd) e Gnaisse Tonalítico de Extrema (200pue/175rd);
- Os sítios geológicos que apresentaram algum conteúdo arqueológico associado ao conteúdo geológico foram recomendados para uso científico e educativo (considerando as especificidades do potencial didático), independente do potencial para uso turístico. Além de possuírem regulamentação própria em termos de medidas protetivas, a indução de visitação turística sem a devida orientação do IPHAN poderia comprometer a conservação arqueológica: Lagoa do Fofô (250pue/120rd);
- Grupo 3 - Os sítios com potencial para usos diversos e baixo risco de degradação foram destinados para fins científicos, educativos e geoturismo: Campo de Inselbergues de Quixadá (325pue/310put/210rd), Gnaisse Milonítico de Quixadá (220pue/210put/245rd), Granito Quixadá (280pue/225put/300rd), Granito Quixeramobim (265pue/210put/245rd), Granada Xisto Quixeramobim (225pue/220put/195rd), Gruta São Francisco de Assis (325pue/275put/205rd), Lagoa dos Monólitos (335pue/320put/190rd), Megaxenólitos de Metassedimentos de Juatama (280pue/245put/110rd), Pedra da Baleia (305pue/205put/215rd), Inselbergue Pedra do Cruzeiro (335pue/320put/190rd), Pedra dos Ventos (335pue/310put/170rd) e Serra do Urucum (345pue/320put/190rd).

A representação do diagnóstico para a geoconservação do Sertão Central é apresentada na Figura 14.

Figura 14. Diagnóstico para a geoconservação com vistas ao uso e proteção dos geossítios e sítios de geodiversidade





### 6.1.1 Medidas para a proteção dos sítios geológicos

Um fator importante no plano de conservação diz respeito à situação de risco e manutenção da integridade física dos sítios geológicos. Nesse caso, dois aspectos são considerados: a proteção legal e a proteção física. Como já discutido anteriormente, o enquadramento legal tem sido proposto como instrumento de ordenamento territorial para a conservação do patrimônio geológico (MANSUR, 2010b). No Brasil, estes instrumentos legais são representados pelo SNUC e pelo Código Florestal, para os casos gerais, e pelos Decreto-Lei nº 4.146/1942 e Lei nº 6.640/2008 para os casos do patrimônio paleontológico e espeleológico, respectivamente (FERREIRA, 2016; LIMA; SCHOBENHAUS; NASCIMENTO, 2016).

Na área de estudo, quatro Unidades de Conservação distribuem-se pelo território conforme apresentado na Figura 14: o Monumento Natural Monólitos de Quixadá (MoNaMQ) e três Reservas Particulares do Patrimônio Natural (que não abarcam nenhum dos sítios geológicos inventariados). O MoNaMQ é uma unidade de conservação estadual promulgada pelo Decreto nº 26.805, de 25 de outubro 2002, e tem entre seus objetivos: *preservar os inselbergues pela sua raridade, singularidade e beleza cênica; ordenar o turismo ecológico, científico e cultural e desenvolver a consciência conservacionista na população da região* (CEARÁ, 2002). A área do MoNaMQ contempla o geossítio Campo de Inselbergues de Quixadá e o sítio da geodiversidade Gruta de São Francisco de Assis.

Os demais sítios geológicos não se localizam em unidades de conservação, sendo que cinco deles apresentam elevado risco de degradação, a saber: Gnaisse Tonalítico de Mombaça (370), Evidências de Cavalcamento de Pedra Branca (370), Sequência tipo *Greenstone* de Pedra Branca (370), Cromitito de Tróia (320) e Milonitos Mombaça (370); os três primeiros localizados em rodovias. Por se constituírem como pequenos afloramentos isolados, estes sítios geológicos não configuram espaços territoriais necessários para a implementação de unidades de conservação, conforme Artigo 2 da Lei Federal nº 9985/2000, e tampouco podem ser enquadrados como Área de Preservação Permanente, conforme o Código Florestal Brasileiro. Para estes casos, sugere-se a proteção legal por meio de leis municipais específicas, tal qual o plano diretor do município de Quixadá que instituiu zonas de proteção ambiental para os inselbergues que se situam na zona urbana da cidade (QUIXADÁ, 2000), como o caso do geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro e o sítio de geodiversidade Lagoa dos Monólitos.

Com vistas à proteção física dos sítios geológicos, medidas estruturais como barreiras, grades e coberturas, entre outros, são adotadas para a proteção e contenção das ações de degradação antrópica, e em casos específicos minimizar impactos naturais. Estruturas como estas são comuns em Geoparques Mundiais da UNESCO, e são apresentadas como exemplos que podem ser adaptados com baixos custos de manutenção, particularmente os exemplos do Geoparque da Ilha de Lesvos (Figura 15c-d).

Figura 15 - Exemplos de medidas estruturais para proteção de sítios geológicos.



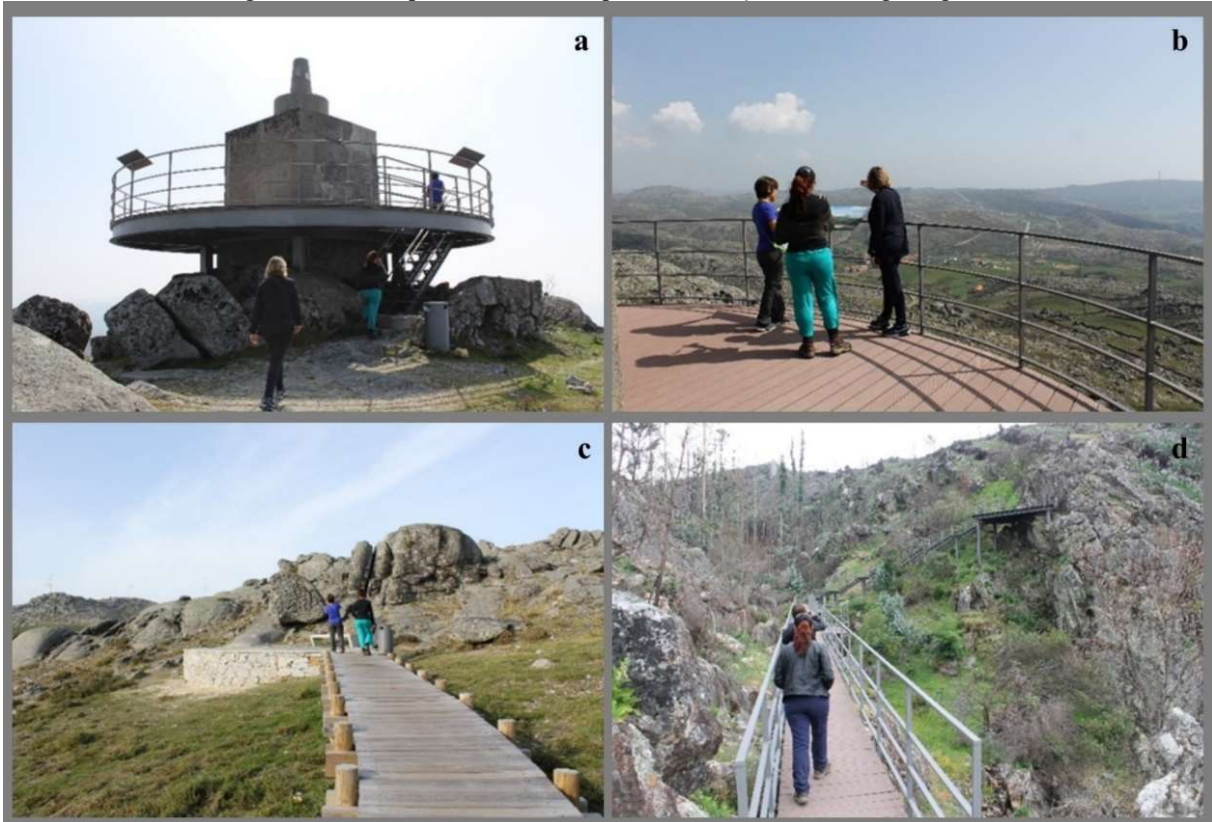
Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Barra de demarcação e b) Muro e grade de proteção para evitar pisoteio e coleta indevida de amostras no Geoparque da Ilha de Lesvos (Grécia). c) Cobertura para proteção contra intempéries. d) Passarela e cerca para evitar pisoteio e coleta indevida de amostras, em partes distintas do geossítio Pedra Parideiras, no Arouca Geopark (Portugal).

### ***6.1.2 Medidas para valorização e divulgação de sítios geológicos***

A valorização e divulgação dos sítios geológicos é construída com base em dois preceitos: melhorar a percepção do público sobre o patrimônio geológico, uma vez que o investimento de recursos em um determinado objeto sugere alguma importância, e tornar o patrimônio geológico acessível tanto do ponto de seu significado, como do ponto de vista físico. Além de construir um ambiente que favoreça a conservação, estas medidas podem ser direcionadas para o fomento do geoturismo. Parte das medidas de valorização passam pela

melhoria de infraestrutura das condições de acesso e observação dos sítios geológicos, como a construção de mirantes, passarelas e grades de segurança (Figura 16).

Figura 16 - Exemplos de estruturas para valorização de sítios geológicos



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) e b) Mirante no geossítio São Pedro Velho. c) Passarela de acesso ao geossítio Pedras Boroas do Junqueiro. d) Passarela e mirante de observação do geossítio Icnofósseis de Cabanas Longas. Todos exemplos do Arouca Geopark (Portugal).

No Sertão Central, medidas como estas são imprescindíveis para o geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro. Apesar de ser um reconhecido ponto turístico no município de Quixadá, o local carece de infraestrutura de segurança, com trechos que oferecem riscos de acidentes aos usuários, principalmente se considerada a visita de grupos estudantis. Por outro lado, o sítio de geodiversidade Serra do Urucum apresenta diversas medidas estruturais construídas no âmbito da igreja que existe no local e que indiretamente valorizam o sítio geológico, como estacionamento, lanchonete e sanitários, além de outros elementos arquitetônicos de caráter religioso (Figura 17).

Figura17 - Exemplos sítios geológicos com e sem medidas estruturais de valorização



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: Geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro: a) Trecho da trilha para topo do geossítio em que se observa a ausência de infraestrutura de segurança (Foto: J. Félix). b) Detalhe de outro trecho da trilha onde foi construída uma passagem e colocado corrimão, porém sem eliminar o risco de queda. Sítio de Geodiversidade Serra do Urucum: c) Estacionamento e d) elemento de cunho religioso no alto da serra, ambos construído no âmbito do Santuário Nossa Senhora Rainha do Sertão.

No tocante à divulgação, tal ação se configura como ação que favorece a proteção física dos sítios geológicos, sendo para Carcavilla (2012) a melhor garantia de conservação a longo prazo. Ela pode ser realizada *in loco* por meio de placas ou painéis, ou ser realizada por meio de folhetos ou cartazes informativos associados a divulgação turística, ou em mídias digitais, como nos exemplos apresentados (Figura 18).

Figura 18 – Tipos de painéis e placas utilizados para a divulgação do patrimônio geológico



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Painel de divulgação sem conteúdo interpretativo, apenas para indicar a presença do Geossítio Cachoeira de Missão Velha (Geopark Araripe). b) Placa de divulgação do Geossítio Pedra da Cebola (Arouca Geopark). c) Painel de divulgação/interpretação com conteúdo interpretativo do Roteiro Geoturístico Litoral Norte de São Paulo (GeoHereditas)

Para a melhor garantia de conservação do patrimônio geológico é necessário que as ações de valorização precedam à divulgação (BRILHA, 2005), considerando a fragilidade dos sítios geológicos e em casos específicos, sua capacidade de carga. Divulgar locais despreparados para receber usuários pode causar o efeito inverso e ampliar as ações degradantes.

## **6.2 Plano de conservação do patrimônio geológico**

Considerando o diagnóstico apresentado, delineou-se um plano de conservação com propostas de medidas para a proteção legal e física, valorização, divulgação e monitoramento para o patrimônio geológico e identificação dos possíveis atores sociais responsáveis. No que concerne à proteção física, as medidas discutidas no Capítulo 5 para sítios geológicos em situações de risco também foram consideradas (Tabela 6). Os sítios sem necessidade de intervenções para medidas de proteção física apresentam baixa fragilidade e baixo risco de degradação.

O monitoramento é recomendado com periodicidade anual para os sítios com baixo e moderado risco de degradação e semestral para os sítios com alto risco. De notar que, não foi considerado no âmbito deste trabalho, a explicitação de como deve ser efetuado o monitoramento de cada sítio geológico.

No plano são apresentados alguns atores sociais no processo de conservação, no entanto, isto não impede a participação de outras organizações civis, como associações de bairros e organizações não governamentais (ongs). A participação da comunidade acadêmica deve ser incentivada na promoção dos sítios geológicos como material didático e no desenvolvimento de material de apoio para a conservação. Ressalta-se que este plano representa um quadro geral do processo de conservação a partir do qual devem derivar planos detalhados e específicos para cada um dos sítios geológicos.

Tabela 6 –Propostas de conservação para os sítios geológicos do Sertão Central cearense

Sítios Geológicos	Medidas de proteção física	Medida de proteção legal	Valorização e divulgação	Monitoramento	Atores sociais
Campo de Inselbergues de Quixadá	Sem necessidade de intervenções	Geossítio com proteção legal	Ações de limpeza e demarcação da trilha que dá acesso ao topo da Pedra da Galinha Choca. Colocação de painel interpretativo na área recreativa do Açude Cedro e painel informativo em área central de Quixadá. Divulgação turística nacional.	Anual	SEMACE, DNOCS, IPHAN e Poder Público Municipal
Cromitito de Tróia	Delimitação da área, sinalização, proibição de pisoteio e remoção da vegetação	Depende de acordo com o proprietário	Divulgação para uso educativo. O geossítio com baixo potencial turístico	Semestral	Proprietário do terreno
Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca, Gnaiss Tonalítico de Mombaça, Gnaiss Tonalítico de Pedra Branca e Sequência tipo <i>Greenstone</i> de Pedra Branca	Delimitação da área, Sinalização, Comunicar a empresa responsável pela área Proibição de pisoteio Remoção da vegetação	Inclusão no Plano Diretor Municipal	A divulgação deve ser realizada a nível da comunidade local, sobretudo para escolas, mas sem incentivo ao turismo. Sugere-se a colocação de painel interpretativo em área central do município de Pedra Branca e de Mombaça	Semestral	Poder Público Municipal e moradores do entorno
Gnaiss Tonalítico de Extrema	Sem necessidade de intervenções	Inclusão no Plano Diretor Municipal	Sugere-se a colocação de painel interpretativo em área central do município de Pedra Branca e de Mombaça. Geossítio com baixo potencial turístico	Anual	Poder Público Municipal
Gnaiss Milonítico de Quixadá	Comunicar a empresa responsável pela área Delimitação de área para preservação junto com os responsáveis pela frente de lavra	Depende de acordo com o proprietário	Sugere-se a colocação de painel interpretativo no local. Divulgação turística depende de acordo com o proprietário	Anual	Proprietário pela pedreira
Granada Xisto Quixeramobim	Sem necessidade de intervenções	Geossítio com proteção legal	O geossítio é formado pelos afloramentos rochosos na base do açude Quixeramobim, com acesso parcial ou total a depender do nível d'água. Sugere-se divulgação turística e colocação de painel interpretativo no restaurante adjacente ao açude.	Anual	Poder Público Municipal
Granito Quixadá	Delimitar a área Sinalizar	Inclusão no Plano Diretor Municipal	Divulgação para uso educativo, sem necessidade de medidas estruturais, apenas limpeza do local. O sítio não apresenta potencial turístico	Semestral	Poder Público Municipal

Granito Quixeramobim	Sem necessidade de intervenções	Inclusão no Plano Diretor Municipal	Sugere-se a colocação de painel interpretativo, sem necessidade de medidas estruturais, apenas limpeza do local. Divulgação turística depende de autorização do proprietário	Anual	Proprietário do local
Gruta São Francisco de Assis, Pedra dos Ventos e Serra do Urucum	Sem necessidade de intervenções	Sítios com proteção legal	Estes sítios possuem infraestrutura para recebimento de turistas e público escolar. Sugere-se a colocação de painel interpretativo em cada local. Para a Pedra dos Ventos, o acesso ao local depende de autorização do proprietário	Anual	Proprietários dos locais
Lagoa do Fofô	Sem necessidade de intervenções	Geossítio com proteção legal	Devido a presença de conteúdo arqueológico, as intervenções neste sítio de geodiversidade só devem ser realizadas após a autorização do IPHAN	Anual	IPHAN e proprietário do local
Lagoa dos Monólitos	Sem necessidade de intervenções	Geossítio com proteção legal	O ponto de observação necessita de limpeza e instalação de estruturas de valorização, como bancos, cobertura e painel interpretativo	Anual	Poder Público Municipal
Megaxenólitos de metassedimentos de Juatama	Sem necessidade de intervenções	Geossítio com proteção legal	Sugere-se a colocação de painel interpretativo junto a estação elevatória de água na base do inselbergue	Anual	Poder Público Municipal e Estadual
Milonitos de Mombaça	Delimitação da área Sinalização Proibição de pisoteio Remoção da vegetação	Inclusão no Plano Diretor Municipal como praça geológica	Ações de valorização devem passar pela manutenção e limpeza. A divulgação deve ser realizada a nível da comunidade local, sobretudo para escolas, mas sem incentivo ao turismo. Sugere-se a colocação de painel interpretativo	Semestral	Poder Público Municipal e moradores do entorno
Pedra da Baleia	Sem necessidade de intervenções	Geossítio com proteção legal	Sugere-se a colocação de painel interpretativo junto ao ponto de observação do sítio geológico Divulgação turística nacional	Anual	Poder Público Municipal e proprietário do local
Inselbergue Pedra do Cruzeiro	Sem necessidade de intervenções	Geossítio com proteção legal	Ações de manutenção e limpeza, demarcação da trilha até o topo do inselbergue, instalação de estruturas como passarela, corrimãos e grades de segurança, instalação de bancos, cobertura e painel interpretativo no alto do inselbergue. Divulgação turística nacional	Anual	Poder Público Municipal

Fonte: Elaborado pela Autora

## 6.5 Potencial para geoturismo sustentável no Sertão Central

O geoturismo, como parte integrante do plano de conservação, visa proteger o patrimônio geológico e trazer benefícios sociais e/ou financeiros para as comunidades locais. Newsome e Downling (2018) reiteram a relação de interdependência entre o patrimônio geológico e o geoturismo, sendo que o geoturismo permite o reconhecimento do patrimônio geológico como componente da natureza, favorecendo sua conservação.

De acordo com os resultados da avaliação quantitativa (Figura 19), os sítios geológicos com potencial uso turístico se concentra nos municípios de Quixadá e Quixeramobim, onde predominam locais com conteúdo geomorfológico e de beleza cênica. Estes sítios sustentam a paisagem rochosa como o principal atrativo geoturístico do Sertão Central. Nos demais municípios, o conjunto de sítios geológicos é formado essencialmente por pequenos afloramentos com elevado risco de degradação e sem componentes cênicos ou paisagísticos, o que dificulta sua inserção em estratégias para o geoturismo. No mapa, a informação geológica foi organizada de forma a representar os grupos e principais ocorrências litológicas, a fim de facilitar o acesso à informação para um público mais amplo (Figura 20). Para efeitos comparativos, a representação geológica tradicional é apresentada na Figura 21.

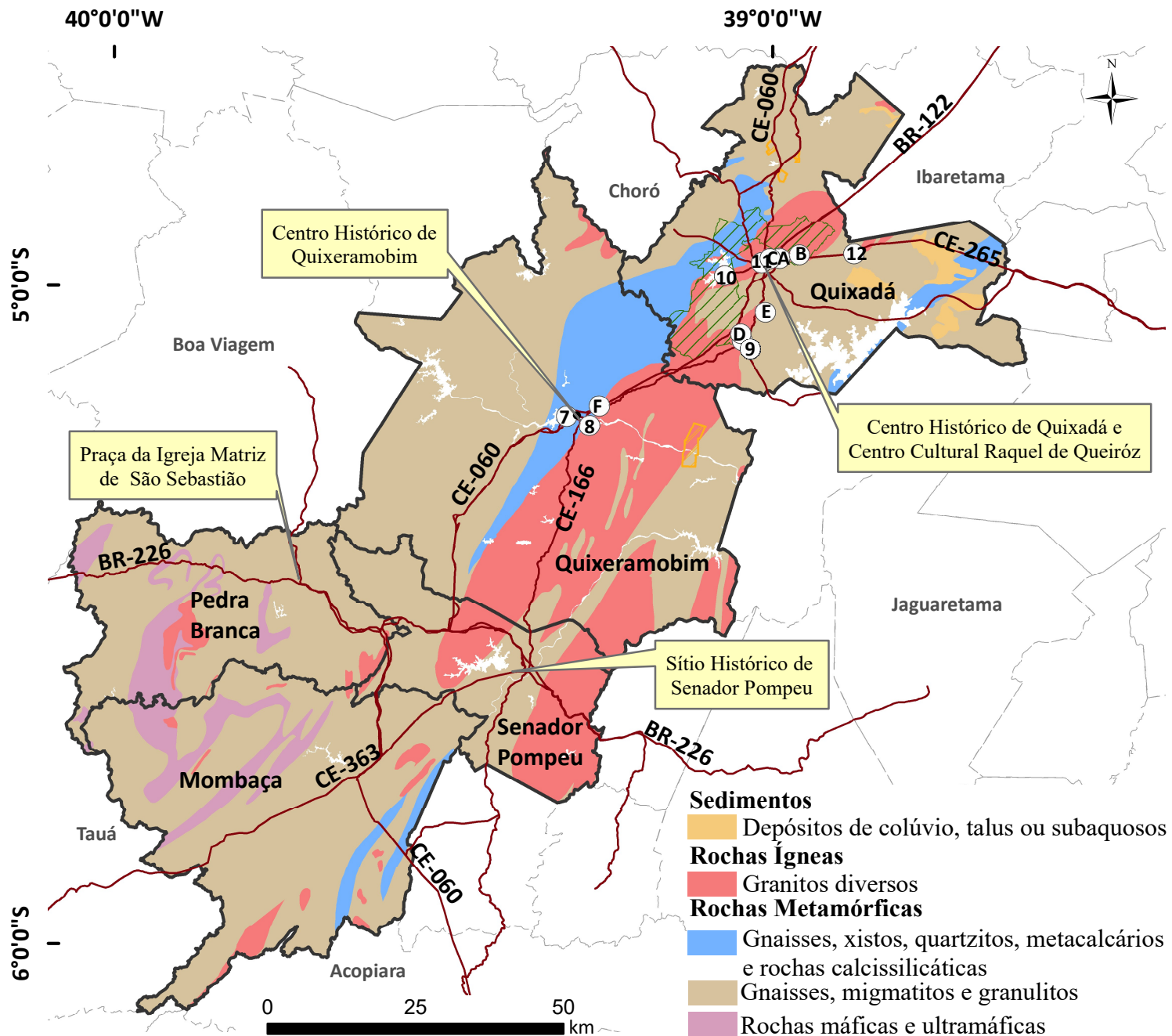
Figura 19 – Síntese do potencial turístico dos sítios geológicos do Sertão Central



Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 20 - Potencialidades para o geoturismo no Sertão Central

**Geossítios**

- ⑦ Granada Xisto Quixeramobim
- ⑧ Granito Quixeramobim
- ⑨ Megaxenólitos de metassedimentos de Juatama
- ⑩ Campo de Inselbergues de Quixadá (Açude Cedro)
- ⑪ Pedra do Cruzeiro
- ⑫ Gnaisse milonítico de Quixadá

**Sítios de Geodiversidade**

- Ⓐ Granito Quixadá
- Ⓑ Gruta São Francisco de Assis
- Ⓒ Lagoa dos Monólitos
- Ⓓ Pedra dos Ventos
- Ⓔ Serra do Urucum
- Ⓕ Pedra da Baleia

- Monumento Natural
- Monólitos de Quixadá
- Reserva Particular do Patrimônio Natural

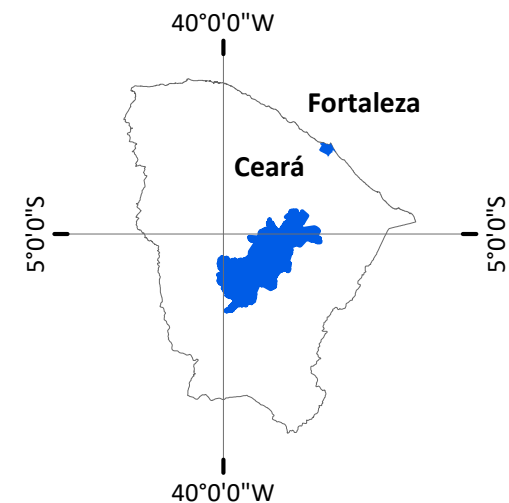
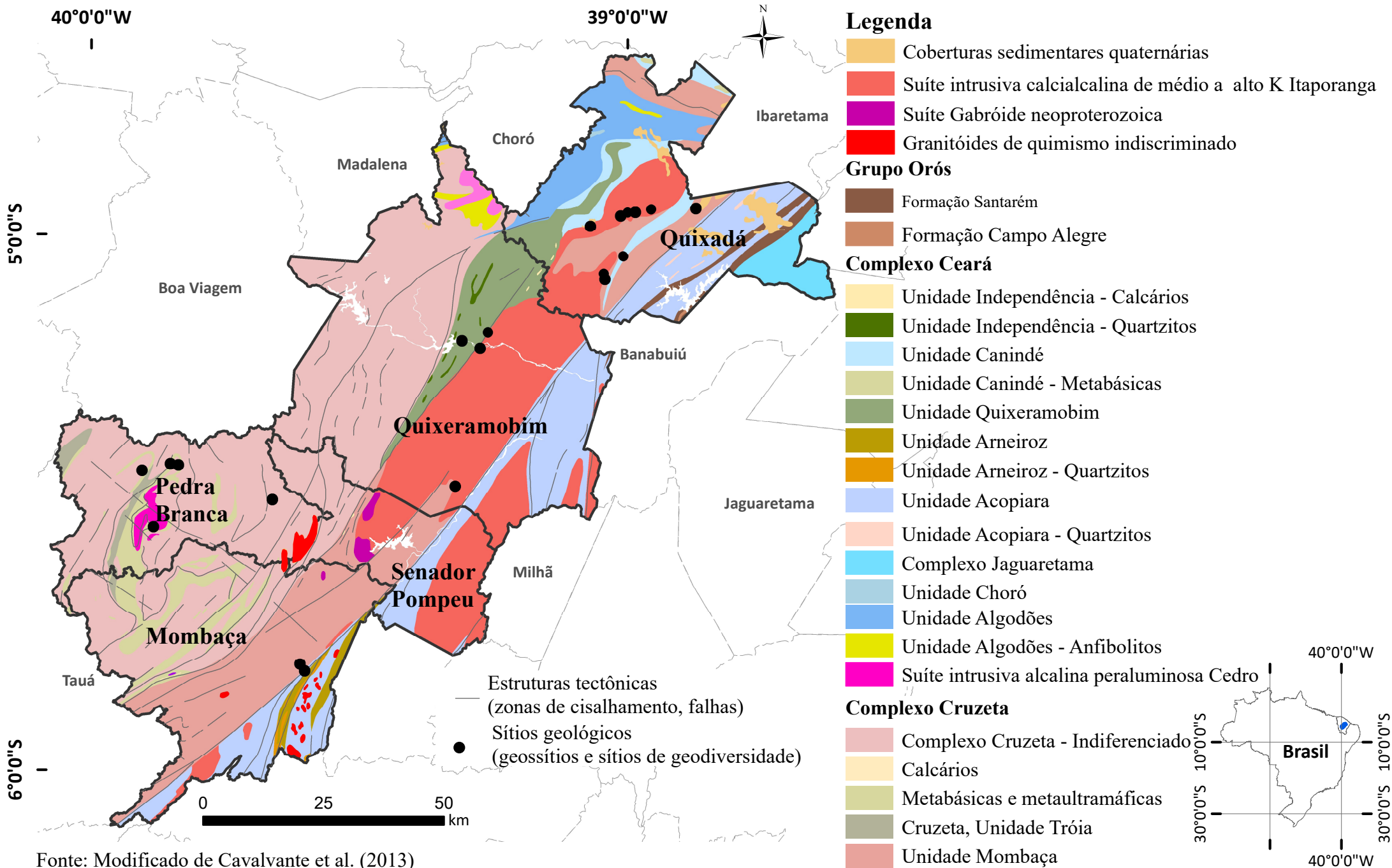


Figura 21 - Unidades litoestratigráficas e sítios geológicos do Sertão Central



Fonte: Modificado de Cavalcante et al. (2013)

Além dos sítios de interesse geológico, a estratégia de geoturismo no Sertão Central contempla sítios de interesse histórico e cultural, seguindo os preceitos holísticos do geoturismo, conforme a Declaração de Arouca (2011). Sob o viés histórico, destacam-se construções do Período Colonial e Imperial do Brasil, além de elementos associados à dinâmica climática e à estiagem na região.

Localizado em Quixadá, o Açude Cedro é considerado a primeira grande obra hidráulica do país, com ordem de construção assinada por D. Pedro II, sendo tombado como Patrimônio Cultural pelo IPHAN em 1977 (AÇUDE, 1983). Em Quixeramobim, o Centro Histórico possui construções do período Colonial, como a Igreja Matriz de Santo Antônio, (1755), a Casa de Câmara e Cadeia (1818)<sup>3</sup>, e a Casa de Antônio Conselheiro. Ao redor, se encontram antigas estruturas ferroviárias e um painel de xilogravuras que retratam a Guerra de Canudos. No município de Senador Pompeu, o conteúdo histórico é representado por ruínas de um campo de concentração construído para conter os flagelados da crise hídrica no Ceará durante a primeira metade do século XX. Este talvez seja o exemplo histórico mais significativo da influência dos condicionantes ambientais na vida da população sertaneja - e incluem-se aqui as características geológicas da região.

Sob o aspecto cultural, a paisagem e a geodiversidade têm exercido influência na cultura sertaneja, com elementos que podem ser aproveitados nas estratégias de geoturismo, como toponímias, identidade local e símbolos geográficos. No município de Pedra Branca, por exemplo, o bloco de quartzo branco que denomina a cidade encontra-se protegido por uma caixa de vidro na praça central, ao lado da Igreja Matriz. A expressão topográfica dos inselbergues e suas mais variadas formas são indicadores geográficos locais, como a Pedra da Baleia (Quixeramobim), bem como favoreceram a identidade cultural dos moradores, como a Pedra da Galinha Choca (Quixadá). Nomes de personagens da cultura do Brasil também estão associados à região, como a escritora Raquel de Queiróz<sup>4</sup>, e o líder religioso Antônio Conselheiro<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> A Casa de Câmara e Cadeia está tombada no Livro do Tombo Belas Artes do IPHAN: Inscr. nº 500, de 09/02/1972. A Casa de Antônio Conselheiro foi tombada em 2006 pelo Conselho Estadual de Preservação do Patrimônio Cultural do Estado do Ceará 2006 (tombamento nº 034).

<sup>4</sup> Raquel de Queiroz (1910-2003) foi a primeira mulher a entrar para a Academia Brasileira de Letras em 1977 e é autora do livro *O Quinze*, publicado em 1930. O livro retrata o drama do sertanejo durante uma das principais crises hídricas sofridas pelo estado Ceará, que teve seu ápice no ano de 1915.

<sup>5</sup> Antônio Conselheiro (1830-1897), nascido Antônio Vicente Mendes Maciel, natural de Quixeramobim (CE), foi um dos líderes da Guerra dos Canudos/BA (1896-1897), revolução popular ocorrida durante a Primeira República do Brasil (1889-1930).

## 6.6 Potencial para atividades educativas no Sertão Central

A educação se configura entre as atividades prioritárias para o sucesso da conservação do patrimônio geológico (THEODOSSIOU-DRANDAKI, 2000). Sua importância nas estratégias de geoconservação é reconhecida como um dos pilares de sustentação dos Geoparques Mundiais da UNESCO (UNESCO, 2016). O conjunto de sítios geológicos do Sertão Central apresenta locais com potencial educativo para os variados níveis de ensino brasileiro, favorecidos pelas boas condições de acesso e observação. Os sítios com as pontuações mais altas representam conteúdos ígneos e geomorfológicos e se destacaram em função da beleza cênica e de associações com valores culturais e/ou ecológicos (Figura 22).

Figura 22 – Síntese do potencial educativo dos sítios geológicos do Sertão Central



Fonte: Elaborado pela autora

O uso dos sítios geológicos em atividades educativas pode ser direcionado para públicos leigos ou especializados, a depender das características intrínsecas e do plano de interpretação do local e realizada em meios formais ou informais de ensino. No campo do ensino formal, os sítios geológicos podem servir de base para o treinamento de professores do ensino fundamental e médio, como recurso didático para ensino de ciências, geografia/geologia

e estudos do meio, e como recurso didático para formação de profissionais em geociências, ciências ambientais e turismo. A fim de detalhar como o potencial educativo dos sítios geológicos pode ser aproveitado, procurou-se identificar os principais conteúdos didáticos a serem abordados em cada ponto. Como não existem conteúdos específicos para o ensino de geologia no ensino fundamental e médio no Brasil, considerou-se como base os conteúdos descritos nos componentes curriculares do Projeto Pedagógico do curso de Bacharelado em Geologia da Universidade Federal do Ceará (SILVA FILHO *et al.*, 2013). Os sítios apresentam características que se adequam tanto às disciplinas introdutórias da geologia, como às disciplinas mais complexas ou interdisciplinares (Tabela 7).

Tabela 7 – Propostas de uso educativo dos sítios geológicos do Sertão Central aplicadas aos componentes curriculares e aos conteúdos na educação superior

<i>Componente Curricular</i>	<i>Conteúdo</i>	<i>Sítios Geológicos</i>
Introdução à geologia	Minerais e rochas Estruturas tectônicas	Granito Quixadá
		Gnaissé Milonítico de Quixadá
		Granada Xisto Quixeramobim
		Gruta São Francisco de Assis
		Serra do Urucum
Geomorfologia e pedologia	Definições de tipos de relevo e suas formas de modelagem. Condicionantes naturais e antrópicos Descrição das principais unidades geomorfológicas do Ceará Terrenos cristalinos e carste	Campo de Inselbergues de Quixadá
		Lagoa do Fofô
		Lagoa dos Monólitos
		Pedra da Baleia
		Inselbergue Pedra do Cruzeiro
		Pedra dos Ventos
Petrologia ígnea e Práticas de campo em petrologia ígnea	Ocorrência das rochas ígneas Estruturas nas rochas e suas texturas macroscópicas Associações de campo Associação de minerais em rochas magmáticas	Campo de Inselbergues de Quixadá
		Inselbergue Pedra do Cruzeiro
		Granito Quixadá
		Granito Quixeramobim
		Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca
Petrologia metamórfica; Geologia estrutural; e Prática de campo em Geologia estrutural e metamórfica	Identificação de associações minerais e paragêneses Tipos de deformação. Texturas e estruturas das rochas metamórficas Relação entre metamorfismo e processos tectônicos Gradiente e fácies metamórfico	Gnaissé Milonítico de Quixadá
		Gnaissé Tonalítico de Extrema
		Gnaissé Tonalítico de Mombaça
		Gnaissé Tonalítico Pedra Branca
		Granada Xisto Quixeramobim
		Milonitos de Mombaça
		Megaxenólitos de metassedimentos de Juatama
Geologia ambiental	O ser humano como agente geológico e suas modificações na natureza Legislação Ambiental e ordenamento territorial	Campo de Inselbergues de Quixadá
		Lagoa dos Monólitos
		Inselbergue Pedra do Cruzeiro
		Serra do Urucum

Prática de campo em geologia econômica Prospecção e geotectônica	Minerações e principais terrenos tectônicos do estado do Ceará	Cromitito Tróia
		Sequência tipo <i>greenstone</i> de Pedra Branca
Mapeamento de terrenos cristalinos	Treinamento de mapeamento em terrenos deformados e metamorfoseados Identificação de geometria 3D dos afloramentos e montagem da história tectônica/metamórfica dos terrenos estudados	Evidências de Cavalcamento de Pedra Branca
		Gnaiss Tonalítico de Extrema
		Gnaiss Tonalítico de Mombaça
		Gnaiss Tonalítico Pedra Branca
		Granito Quixadá
		Granito Quixeramobim
		Pedra dos Ventos
		Milonitos de Mombaça
		Granada Xisto Quixeramobim






Fonte: Elaborado pela autora. Componentes curriculares e conteúdo de Silva Filho *et al.* (2013)

## 6.7 Guia descritivo para a gestão de sítios geológicos

A gestão do patrimônio geológico em áreas extensas apresenta um desafio para além das dimensões territoriais. No Sertão Central (bem como em todo o Domínio Ceará Central) os geossítios e sítios de geodiversidade apresentados nesta tese não são conhecidos nas esferas do poder público e do público em geral, com exceção de alguns poucos sítios já utilizados pelo turismo tradicional e/ou atividades religiosas. E mesmo que o poder público tome conhecimento dos inventários e se sensibilize para as necessidades do patrimônio geológico, como efetivar a geoconservação na ausência de um corpo gestor integrado e de legislações específicas? Embora os desafios sejam múltiplos, e não se encerrem nesta argumentação, este trabalho se propôs ao desenvolvimento de um guia descritivo de sítios geológicos que pudesse ser utilizado como ferramenta de auxílio para gestores, especialmente não especialistas e na esfera do poder público.

O modelo aqui proposto representa a síntese de todo o processo de geoconservação desenvolvido nesta tese, considerando a caracterização dos sítios geológicos, indicações para proteção, uso, divulgação e valorização, além de incorporar a avaliação quantitativa da plataforma *GEOSSIT*. A partir desta proposta inicial, o guia pode ser adaptado conforme as demandas locais, tendo em vista o objetivo de orientar estratégias específicas de conservação para cada caso, e reconhecer os aspectos mais significativos para interpretação e aqueles mais vulneráveis para o monitoramento do sítio geológico (Tabela 8).

Tabela 8 – Proposta de guia descritivo para gestão de sítios geológicos

<b>Dados Gerais</b>		
Nome do Geossítio/Sítio da Geodiversidade:		Identificação:
Coordenadas: <i>(obtidas em campo com GPS)</i>	<input type="checkbox"/> Área Urbana	
Município:	<input type="checkbox"/> Área Rural	
Acesso/Localização: <i>(descrever detalhadamente as peculiaridades de acesso ao ponto, como por exemplo, se exige carro tracionado, se o acesso é sazonal, trechos a pé ou por automóvel etc.)</i>		
Acesso ao local depende de autorização? Especificar		
<b>Situação Fundiária</b>		
<input type="checkbox"/> Propriedade Pública	<input type="checkbox"/> Municipal	<input type="checkbox"/> Estadual <input type="checkbox"/> Federal
Órgão responsável: <i>(informações de contato com responsável)</i>		
<input type="checkbox"/> Propriedade Privada	Proprietário: <i>(no mínimo nome e informações de contato)</i>	
<b>Enquadramento Legal</b>		
O sítio geológico é protegido ou está localizado em alguma área protegida?		
<input type="checkbox"/> Sim. Qual? <input type="checkbox"/> Não. Poderia ser enquadrado em qual lei?		
<input type="checkbox"/> SNUC (Lei 9.985 de 2000) – Qual modalidade?		
<input type="checkbox"/> Área de Preservação Permanente (Código Florestal/Lei 12.651 de 2012)		
<input type="checkbox"/> Lei para a Proteção das Cavidades Naturais Subterrâneas (Lei 6640/2008)		
<input type="checkbox"/> Lei para a Proteção dos depósitos fossilíferos (Lei 4146/1942)		
<input type="checkbox"/> Lei para a Proteção do Patrimônio Histórico- Artístico Nacional (Lei nº 25 de 1937.)		
<input type="checkbox"/> Outros. Especificar		
<b>Caracterização Física</b>		
Descrição dos aspectos físicos: <i>(descrever a forma de ocorrência, se é um lajedo de rocha, um corte de estrada, forma de relevo, com detalhes das dimensões)</i>		
<i>Dimensão em m<sup>2</sup>:</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Definição*1</i>
<input type="checkbox"/> Superior a 10.000 m <sup>2</sup> com apenas um interesse	Área	
<input type="checkbox"/> Amplas áreas com vários locais interesses	Área Complexa	
<input type="checkbox"/> Área com interesse geológico e seu ponto ótimo de observação	Mirante	
<input type="checkbox"/> Até 10.000 m <sup>2</sup> com apenas uma característica geológica	Ponto	
<input type="checkbox"/> Até 10.000 m <sup>2</sup> com características geológicas distribuídas linearmente	Seção	
<b>Caracterização dos Conteúdos</b>		
Breve descrição geológica: <i>(descrever as principais características do afloramento quanto aos elementos geológicos, tipo de rocha, ocorrências minerais, texturas, estruturas, cor etc.)</i>		
Justificativa do valor científico: <i>(informações sobre a representatividade, raridade, integridade e conhecimento científico)</i>		
Conteúdo geológico:		
<input type="checkbox"/> Espeleológico <input type="checkbox"/> Estratigráfico <input type="checkbox"/> Geomorfológico <input type="checkbox"/> Hidrogeológico <input type="checkbox"/> Ígneo		
<input type="checkbox"/> Metamórfico <input type="checkbox"/> Mineralógico <input type="checkbox"/> Paleontológico <input type="checkbox"/> Tectono-estrutural <input type="checkbox"/> Sedimentar		
<input type="checkbox"/> Outros. Especificar:		
Outros tipos de interesses e conteúdos?		
<input type="checkbox"/> Arqueológico	Entrar em contato com o IPHAN e/ou com Conselhos Estadual/Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico e Cultural sobre possíveis tombamentos e regulações de uso	
<input type="checkbox"/> Cultural	Verificar junto ao ICMBio e/ou órgãos ambientais municipais e estaduais sobre possíveis regulações de uso ou possibilidades de enquadramento legal	
<input type="checkbox"/> Histórico		
<input type="checkbox"/> Ecológico		
<input type="checkbox"/> Outros. Especificar:		

<b>Avaliação Quantitativa dos valor científico e usos potenciais</b> <i>(informações obtidas no GEOSSIT)</i>	
Valor Científico (VC):	( ) Geossítio ( ) Sítio da Geodiversidade <i>(VC &gt; 200 pontos) (VC &lt; 200 pontos)</i>
Risco de Degradação (RD):	
( ) Alto <i>(entre 301 e 400)</i>	recomendação de monitoramento semestral
( ) Moderado <i>(entre 201 e 300)</i>	recomendação de monitoramento anual
( ) Baixo <i>(&lt;200)</i>	recomendação de monitoramento anual
Principal aspecto de fragilidade: <i>(aspectos intrínsecos do sítio, como grau de alteração, fraturamento etc.)</i>	
Principal aspecto de vulnerabilidade: <i>(aspectos do entorno que oferece risco ao sítio)</i>	
Potencial uso educativo (PUE):	Potencial uso turístico (PUT):
( ) Potencial didático para todos os níveis de ensino	( ) Potencial para divulgação para todos os tipos de público
( ) Potencial didático para ensino fundamental	( ) Potencial para divulgação para público com algum conhecimento em geologia
( ) Potencial didático para ensino médio	( ) Potencial para divulgação para público com bons conhecimentos em geologia
( ) Potencial didático para ensino superior	( ) Potencial para divulgação somente com amplo conhecimento em geologia
Posição no ranking de prioridade: <i>(indicação numérica)</i>	
<b>Ações prioritárias em situação de alto risco de degradação</b>	
<i>Situação de risco</i>	<i>Sugestão de medidas prioritárias</i>
( ) Quando o risco ocorre em função das características intrínsecas (fragilidade da rocha)	Sinalizar, proibir pisoteio e remover a vegetação
( ) Quando o risco ocorre em função das dimensões (pontos, seções)	Delimitar a área e sinalizar
( ) Quando o risco ocorre em função da localização (corte de estradas, áreas urbanas etc.)	Delimitar a área e comunicar os responsáveis
( ) Quando o risco ocorre em função de atividades econômicas (pedreiras, minerações, plantações etc.)	Comunicar os responsáveis e propor uma área para preservação
Descrever medidas específicas:	
<b>Indicações de uso com base na avaliação quantitativa</b>	
<i>Características</i>	<i>Indicações de uso</i>
( ) O sítio geológico apresenta alto risco de degradação (entre 301 e 400)?	Somente para uso científico ou educativo em nível superior, independente do potencial uso turístico
( ) O sítio geológico apresenta algum conteúdo arqueológico associado?	Somente para uso científico ou educativo
( ) O sítio geológico apresenta moderado ou baixo risco de degradação <300, PUE >200 e PUT < 200?	Livre para uso educativo em qualquer nível de ensino, a depender do potencial didático
( ) O sítio geológico apresenta moderado ou baixo risco de degradação <300, PUT >200 e PUE < 200?	Livre para uso turístico, a depender do potencial para divulgação
( ) O sítio geológico apresenta moderado ou baixo risco de degradação <300, PUT >200 e PUE > 200?	Livre para todos os usos avaliados
<b>Valorização e Divulgação</b>	
O sítio geológico necessita de infraestrutura para proteção física, tais como barreiras, cercas etc.?	
( ) Sim.	( ) Não, com necessidade ( ) Não, sem necessidade
O sítio geológico possui infraestrutura de segurança para visitantes?	
( ) Sim.	( ) Não, com necessidade ( ) Não, sem necessidade
O sítio geológico possui infraestrutura de divulgação, tais como placas e/ou painéis interpretativos?	
( ) Sim	( ) Não, com necessidade ( ) Não, sem necessidade
Especificar para os 3 casos: <i>(detalhar quais as medidas foram ou devem ser tomadas, como barreiras para evitar quedas, corrimãos, passarelas, onde e como serão instalados painéis e sinalizações etc.)</i>	



## 7 CONTEÚDOS PARA GEOTURISMO E ATIVIDADES EDUCATIVAS NO SERTÃO CENTRAL

As propostas de conteúdos para atividades educativas e geoturismo no Sertão Central foram desenvolvidas por meio de roteiros considerando os conteúdos do patrimônio geológico, seus respectivos potenciais de uso educativo e turístico e os aspectos culturais e históricos do território. Utilizou-se como referências principais as considerações de Tilden (1977) e Macadam (2018) sobre planos de interpretação do território e análise ao material de apoio aos roteiros geológicos dos geoparques Arouca Geopark (ROCHA, 2016) e Geoparque da Costa Basca (HILÁRIO, 2012).

Dois modelos de roteiros foram propostos: *Roteiro Granitos neoproterozoicos*, com enfoque nas principais rochas do Sertão Central e sua configuração geomorfológica na construção da paisagem do semiárido nordestino, essencialmente o campo de *inselbergues* de Quixadá e; *Roteiro Terrenos pré-cambrianos*, destinado às rochas arqueanas/paleoproterozoicas, em sua maior parte representadas em afloramentos de pequenas dimensões, com enfoque no entendimento do tempo e evolução geológica do terreno. O primeiro tem como público principal turistas e moradores locais, sem conhecimento significativo em geociências. O segundo tem como público alvo estudantes de ensino fundamental, médio e superior.

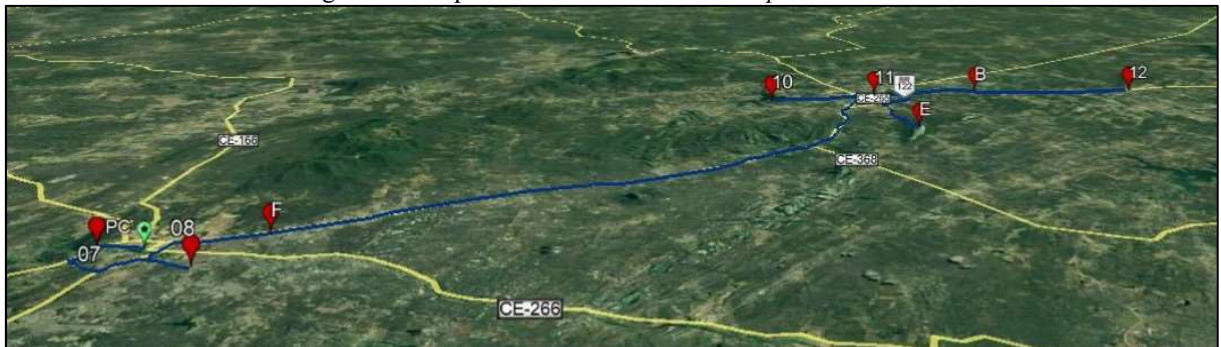
### 7.1 Roteiro Granitos neoproterozoicos

Este roteiro percorre os municípios de Quixadá e Quixeramobim e contempla 08 sítios geológicos: Granada xisto de Quixeramobim (07), Granito Quixeramobim (08), Pedra da Baleia (F), Campo de Inselbergues de Quixadá (10), Inselbergue Pedra do Cruzeiro (11), Gruta de São Francisco de Assis (B), Gnaisse Milonítico de Quixadá (12) e Serra do Urucum (E) (Figura 23).

Os sítios geológicos que compõem o roteiro representam afloramentos das diferentes fácies graníticas dos batólitos Quixadá-Quixeramobim, com idades entre 590 e 560 Ma, relacionados à fase tangencial da orogenia Brasiliana e período de espessamento crustal (ALMEIDA *et al.*, 1999, NOGUEIRA, 2004). No percurso também foram contemplados afloramentos representativos do embasamento paleoproterozoico, dos processos geodinâmicos relacionados à intrusão do batólito e dos efeitos da tectônica transcorrente destal brasiliana, como granada-xistos, gnaisses-migmatíticos e rochas com ocorrência de feições miloníticas.

Outra abordagem deste percurso diz respeito a expressão geomorfológica destas rochas, em parte resultantes da erosão diferencial e variabilidade climática. Nesse aspecto, foram contemplados sítios representativos de variados tipos de inselbergues e formas graníticas que marcam a paisagem da região.

Figura 23. Proposta do roteiro *Granitos neoproterozoicos*



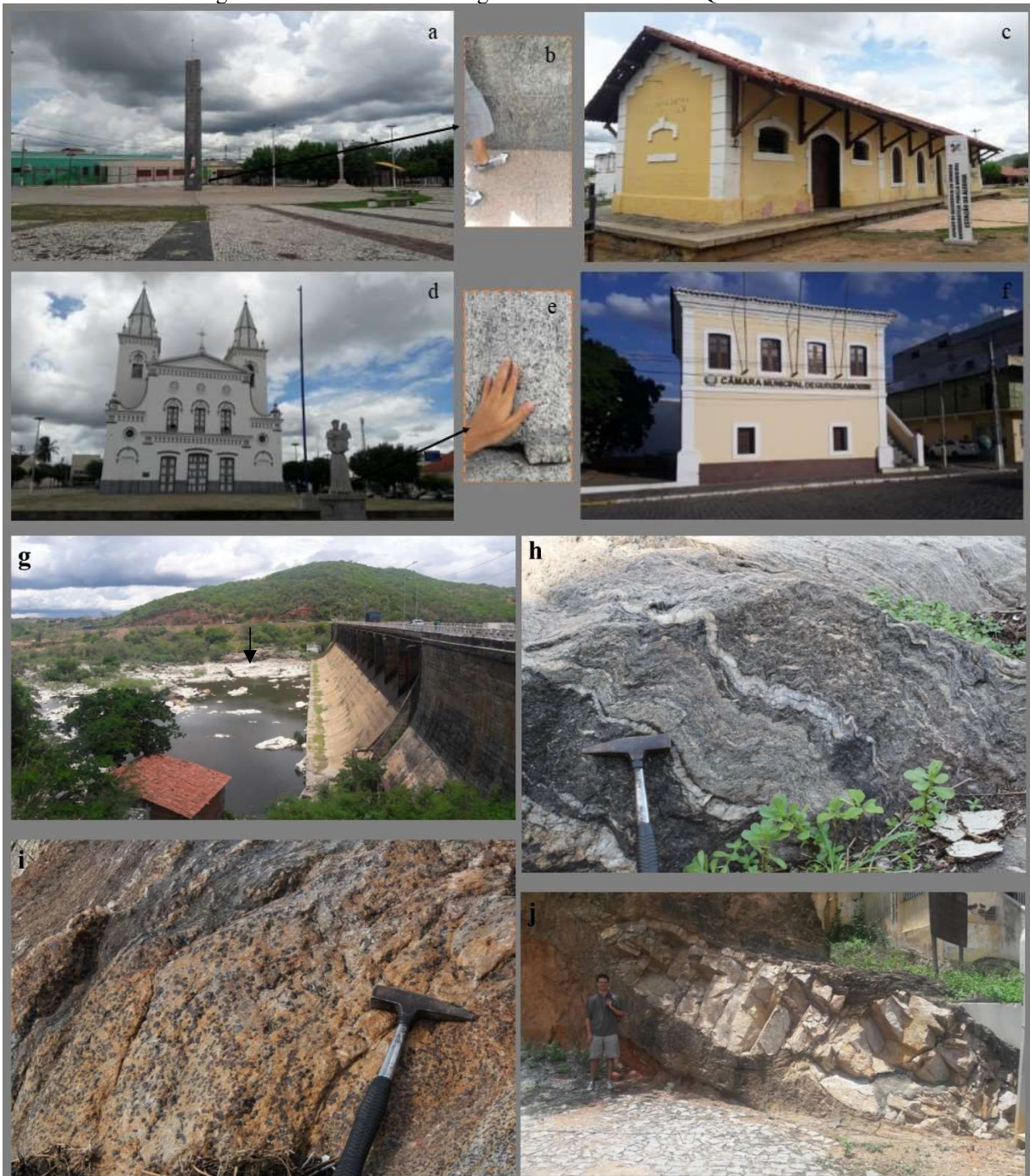
Fonte: Elaborado pela autora com imagem do Google Earth (2018)

### 7.1.1 Descrição do percurso

O roteiro tem como ponto de partida o Centro Histórico de Quixeramobim, na praça do marco do centro geográfico do estado do Ceará (PC). O percurso é realizado a pé e percorre a Igreja Matriz de Santo Antônio, a Casa de Câmara e Cadeia e a Casa de Antônio Conselheiro, além de antigas estruturas da estrada de ferro e um painel de xilogravuras que retratam a Guerra de Canudos. O local abre possibilidades para abordar o uso dos elementos da geodiversidade local na construção civil e como matéria-prima para representações artísticas, como visto no marco geográfico e na escultura de Santo Antônio, além de questões históricas sobre a ocupação do território cearense (Figura 24a-f).

O geossítio Granada Xisto de Quixeramobim é primeiro sítio geológico do roteiro e ocorre nas margens da rodovia CE-060, no açude Quixeramobim. Este açude foi construído em 1960 para o abastecimento de água da população da cidade. O afloramento está localizado na base do açude, com melhor exposição durante o período de estiagem. O afloramento é formado por um pacote de granada xisto rico em biotita, com bolsão de granadas centimétricas, *boudins* de quartzito e três tipos distintos de estruturas: foliação, dobras intrafoliais e clivagem de crenulação. Estas características tornam o afloramento atrativo para abordagem de temas sobre metamorfismo e rochas metamórficas, sendo possível proporcionar atividades para a identificação dos cristais de granada e das texturas e estruturas da rocha (Figura 24g-j).

Figura 24 - Centro Histórico e geossítio Granada Xisto Quixeramobim



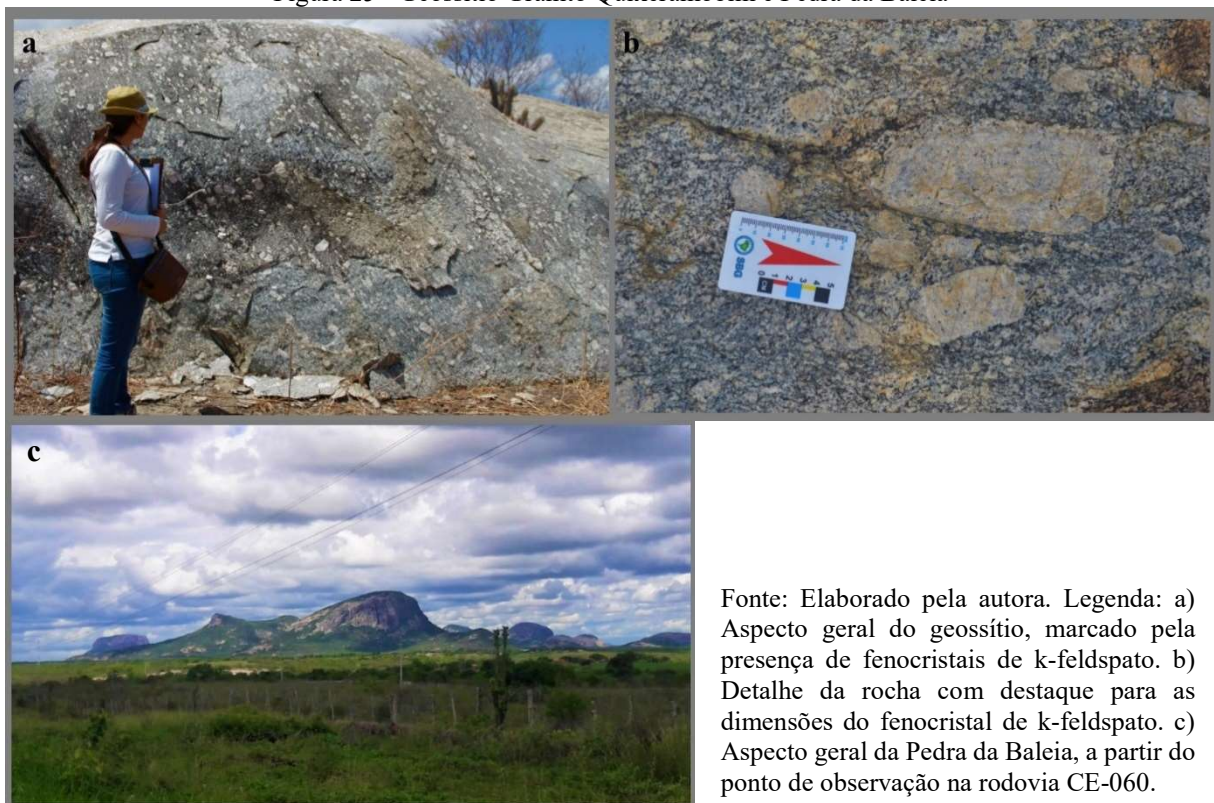
Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Praça do marco do centro geográfico do Ceará. b) Detalhe do revestimento em granito na torre central. c) Antiga estação ferroviária. d) Igreja de Santo Antônio (construída em 1755) e escultura de Santo Antônio. e) Detalhe da escultura com destaque para o material utilizado. f) Casa de Câmara e Cadeia. g) Vista da barragem do açude de Quixeramobim, a seta aponta o principal afloramento do geossítio. h) Detalhe do afloramento com destaque para a clivagem de crenulação. i) Detalhe do geossítio com destaque para um bolsão de granada. j) Lente de quartzito no pacote xistoso na lateral da barragem do açude.

O ponto seguinte do percurso constitui-se de um extenso lajedo granítico de cor cinza e textura porfírica, com fenocristais de K-feldspato que atingem 15 cm, representante dos granitos neoproterozoicos formados na fase final da orogenia Brasileira. Este estudo classificou o afloramento como geossítio Granito Quixeramobim. Os temas propostos para este

ponto dizem respeito às rochas ígneas, como se formam e seus principais minerais constituintes, e ao valor econômico da geodiversidade, considerando o uso dos granitos como pedra ornamental. Para públicos com conhecimento em geociências, a discussão pode avançar para o significado destes corpos graníticos no contexto do Gondwana (Figura 25a-b).

Após este ponto, o percurso segue para nordeste pela rodovia CE-060, com direção à Quixadá. Na altura do quilômetro 198, um inselbergue se destaca topograficamente na Depressão Sertaneja e exhibe contornos que remetem à uma baleia (Figura 25c). Este inselbergue representa uma famosa toponímia na região, indicando a proximidade dos limites territoriais entre os dois municípios. Ao menos duas questões são pertinentes para discussão no local: o valor cultural dos elementos da geodiversidade e as formas de relevo que compõem a paisagem, por meio do contraste entre a planície aplainada e o inselbergue.

Figura 25 - Geossítio Granito Quixeramobim e Pedra da Baleia

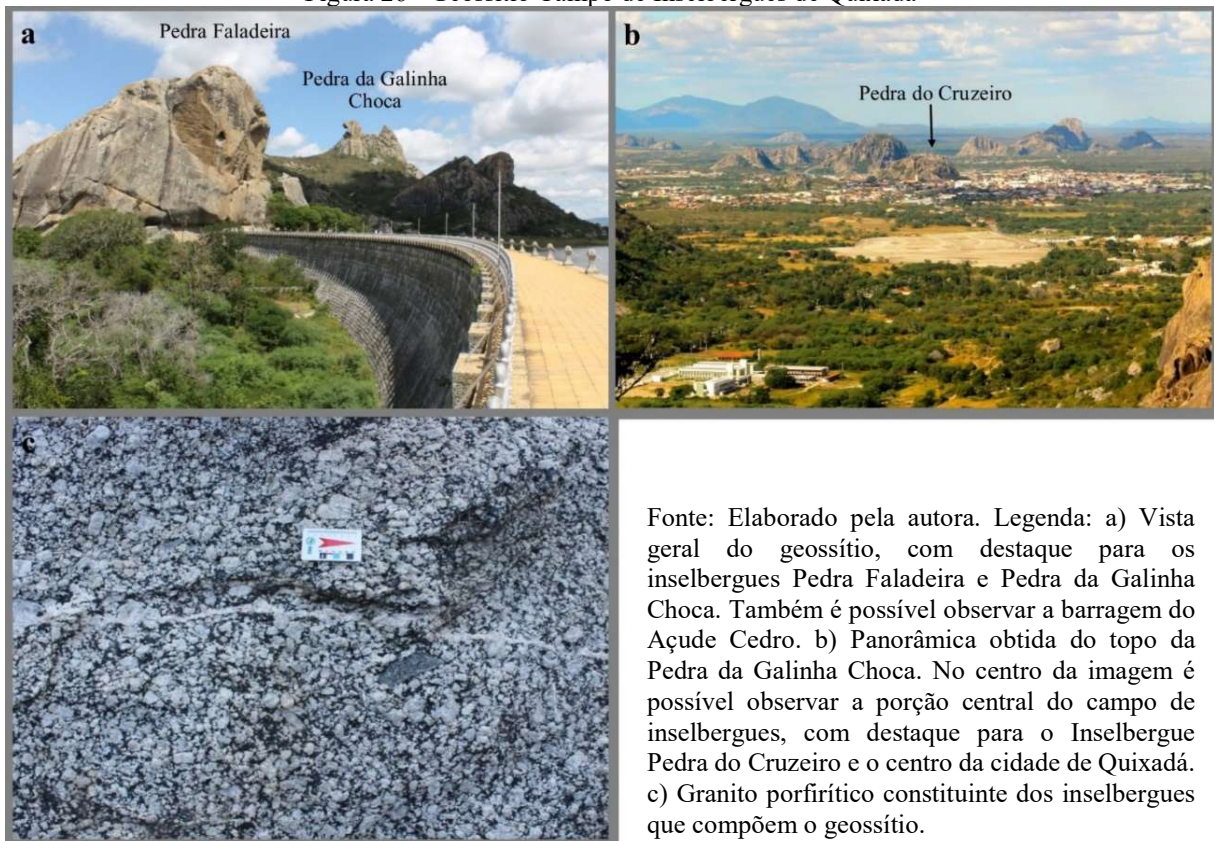


O próximo ponto do percurso está localizado no município de Quixadá, no entorno do Açude Cedro. O geossítio Campo de Inselbergues de Quixadá representa o vasto campo de inselbergues que caracteriza a paisagem sertaneja. Dois inselbergues se destacam no local: a Pedra Faladeira e a Pedra da Galinha Choca (Figura 26). Estas formações atingem cerca de 300 metros de altitude e são formados por rochas graníticas caracterizadas por fenocristais de feldspato, enclaves máficos e veios de quartzo. A combinação destes elementos favorece o

fraturamento dos inselbergues que progride até o colapso de blocos. O topo da Pedra da Galinha Choca é acessado por trilha em meio a mata. Do alto, é possível observar o centro do campo de inselbergues e a área urbana de Quixadá. Outro elemento importante deste sítio, o Açude Cedro é considerado a primeira grande obra hidráulica do país, tendo sido construído no século XIX, ainda no Brasil Império (AÇUDE, 1983).

A paisagem sertaneja é o principal aspecto a ser abordado neste ponto, considerando suas formas, rochas e o aspecto cênico. A presença do açude é central para discussões acerca do clima semiárido e da dinâmica da seca no nordeste, aproveitando-se que Quixadá foi cenário para a obra de Rachel de Queiróz e que o problema da escassez de água persiste nos dias atuais.

Figura 26 - Geossítio Campo de Inselbergues de Quixadá



O Inselbergue Pedra do Cruzeiro é o quinto deste percurso e está localizado no centro do município de Quixadá. Este inselbergue possui cerca de 190 metros de altura, sendo formado por um granítico porfírico, marcado pela presença de fenocristais de feldspato e diversos enclaves máficos. Diferente da Pedra da Galinha Choca, a Pedra do Cruzeiro não possui contornos angulosos e apresenta uma aparência arredondada, marcada por feições de dissolução do tipo caneluras. O local é um importante marco para a população de Quixadá e recebe esse nome por abrigar um cruzeiro onde se realizavam celebrações religiosas. A subida

até ao topo revela a paisagem urbana do sertão e a porção periférica do campo de inselbergues (Figura 27). Neste ponto podem ser abordados aspectos pertinentes ao relevo, comparando as formas apresentadas entre os inselbergues observados neste ponto e no ponto anterior, destacando as diferenças entre as rochas. Sugere-se a abordagem de temas pertinentes a conservação do patrimônio geológico e ao valor cultural da geodiversidade.

Figura 27 - Geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro



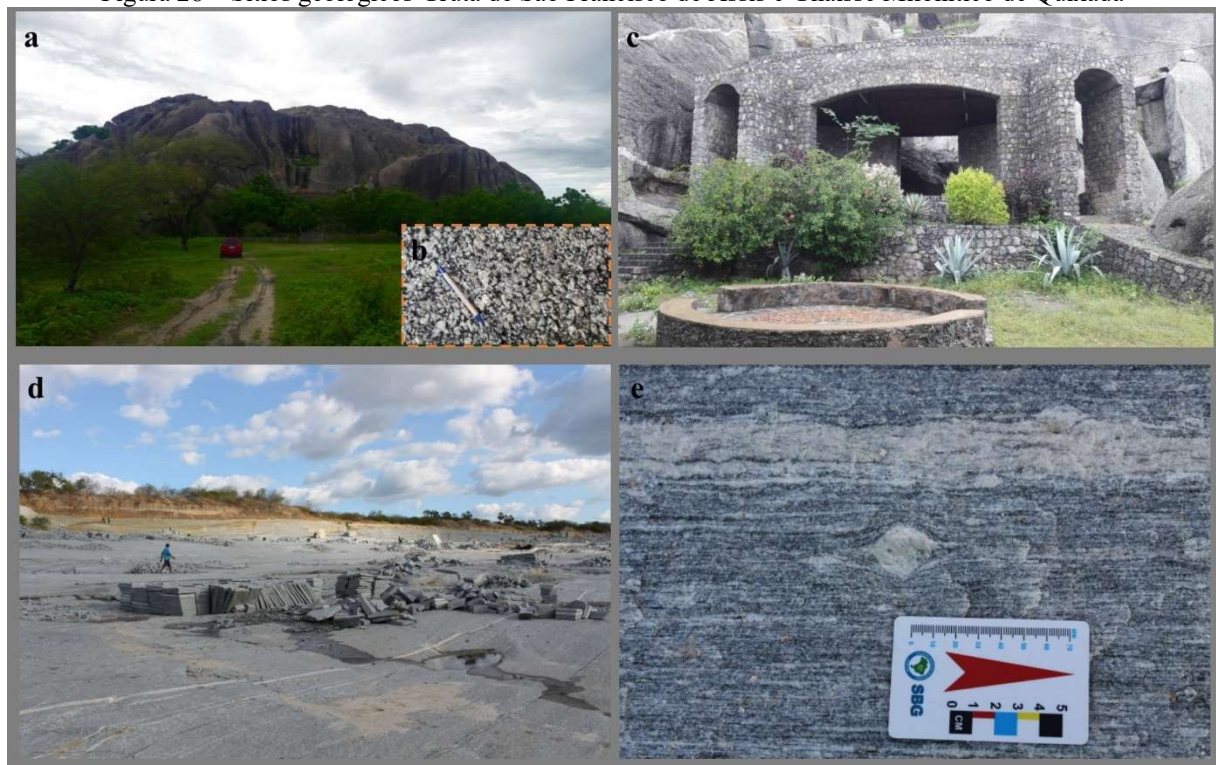
Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Panorâmica a partir do topo do inselbergue Pedra do Cruzeiro. b) Aspecto do granito porfirítico que forma o inselbergue, com enclave máfico no detalhe. c) Aspecto geral das caneluras, principal feição de dissolução atuante sob a forma do inselbergue. d) Centro Cultural Raquel de Queiróz, com o geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro ao fundo.

Em continuidade ao percurso, a Gruta de São Francisco de Assis é formada por um inselbergue granítico porfirítico, semelhante ao granito da Pedra do Cruzeiro. Em sua vertente sul, uma escultura de São Francisco de Assis e uma capela foram esculpidas no granito. Toda a estrutura da capela, das paredes aos bancos, foi construída com as rochas disponíveis no local ou de locais próximos, como o gnaisse milonítico encontrado no próximo geossítio deste roteiro. Os temas propostos para este ponto dizem respeito às rochas ígneas, suas texturas e

principais minerais constituintes, e o valor funcional e econômico da geodiversidade (Figura 28a-c).

Próximo do ponto anterior, o geossítio Gnaiss Milonítico de Quixadá constitui-se de ortognaiss com bandamento deformacional, forte estiramento mineral e foliação milonítica representativas dos efeitos da tectônica transcorrente dextral referente à Zona de Cisalhamento Senador Pompeu. A rocha está exposta pela frente de lavra de uma pedreira com processo artesanal de exploração. Nesta parada, propõe-se a abordagem de temas relacionados os aspectos estruturais da rocha, estabelecendo a correlação do gnaiss como produto do metamorfismo sobre os granitos observados ao longo do roteiro. O valor funcional e econômico da rocha como pedra ornamental são outros temas relevantes para discussão neste afloramento (Figura 28d-e).

Figura 28 – Sítios geológicos Gruta de São Francisco de Assis e Gnaiss Milonítico de Quixadá



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Aspecto geral do inselbergue. b) Destaque para o granito constituinte da formação. c) Aspecto geral da infraestrutura construída no local: a capela, ao fundo; um pequeno jardim e um banco circular na frente, todos construídos com rochas locais. d) Aspecto geral do geossítio Gnaiss Milonítico de Quixadá com destaque para a extensão e homogeneidade da rocha. e) Destaque para a foliação milonítica afetando todo o afloramento.

O último ponto deste roteiro está situado na localidade de Monte Alegre, em Quixadá. A Serra do Urucum é mais um dos inselbergues que marcam a paisagem da região, mas diferente dos anteriores, apresenta composição gnáissico-migmatítica. O local é excelente

ponto mirante para apreciação da paisagem, sendo possível observar a Depressão Sertaneja e outras formas de relevo associadas. O local também abriga um santuário religioso, ponto para prática de voo livre e infraestrutura para recebimento de visitantes (Figura 29). Os temas propostos para este ponto dizem respeito aos tipos e formas de relevo que compõem a paisagem do Sertão Central, os valores destes elementos da geodiversidade para a população sertaneja e seu significado como patrimônio geológico.

Figura 29 – Sítio geológico Serra do Urucum



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Panorâmica a partir do topo do sítio de geodiversidade. b) Igreja de Nossa Senhora Rainha do Sertão. c) detalhe do gnaiss milonítico utilizado na construção da igreja. d) Afloramento de *augen*-gnaisse com intrusão de material granítico equigranular representantes dos litotipos que estruturam a Serra do Urucum.

## 7.2 Roteiro Terrenos pré-cambrianos

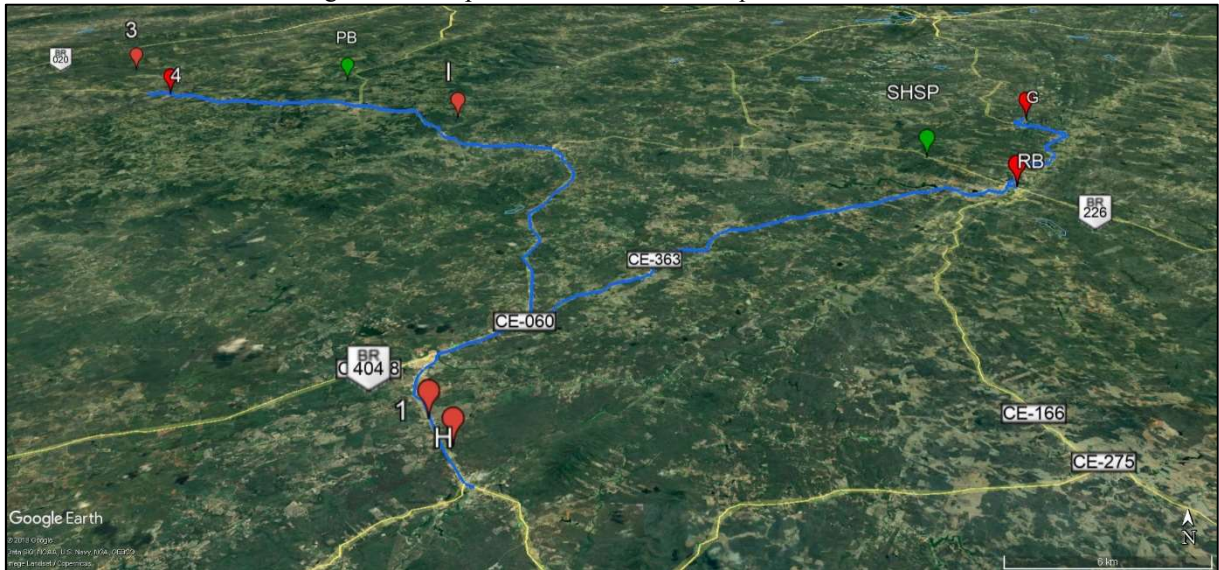
Este roteiro percorre os municípios de Pedra Branca, Mombaça, Senador Pompeu e um pequeno trecho na região sudeste de Quixeramobim. Por contemplar geossítios com alto risco de degradação, seu uso é indicado para atividades educativas.

O percurso contempla 05 sítios geológicos: Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca (03), Sequência tipo *Greenstone* de Pedra Branca (04) Gnaiss Tonalítico de Mombaça (01), Lagoa do Fofô (G) e Milonitos de Mombaça (H) (Figura 30). Os sítios selecionados têm por objetivo representar os principais eventos geodinâmicos que configuraram o atual território do Sertão Central durante o Pré-Cambriano, e por este motivo, contempla sítios geológicos representativos do embasamento gnáissico-migmatítico, resultantes de eventos orogênicos arqueanos e paleoproterozoicos, associados ao supercontinente Rodínia, e um sítio



representativo das rochas neoproterozoicas formadas durante o Ciclo Brasileiro, associadas ao supercontinente Gondwana. Esta proposta também aborda locais representativos da história de ocupação do território e da dinâmica climática do semiárido sobre a população sertaneja, como a Praça da Igreja Matriz de São Sebastião (PB), em Pedra Branca, Sítio Histórico de Senador Pompeu (SHSP) e o Rio Banabuiú (RB).

Figura 30 - Proposta do roteiro *Terrenos pré-cambrianos*



Fonte: Elaborado pela autora com imagem do Google Earth (2018)

### 7.2.1 Descrição do percurso

O percurso tem como ponto de partida a Praça da Igreja Matriz de São Sebastião, no centro de Pedra Branca, onde se encontra o bloco de quartzo que dá nome ao município (Figura 31a). Neste ponto sugere-se a abordagem de temas relacionados a representação e valor cultural da geodiversidade. Do local, o percurso segue para oeste por 17 km pela rodovia BR-226 até o próximo ponto.

O geossítio Evidências do Cavalgamento de Pedra Branca é o primeiro ponto geológico do percurso, formado pela intercalação entre gnaisses, anfibolitos e xistos, com presença de foliações de baixo ângulo, estiramento mineral, variadas dobras intrafoliais e assimétricas, *pods* e *boudins*. Representa as zonas de cavalgamento relacionadas à eventos orogênicos paleoproterozoicos, provavelmente associados à formação do supercontinente Rodínia. Neste geossítio podem ser abordadas questões pertinentes a tectônica de placas e características das rochas metamórficas, suas texturas e principais estruturas. Para níveis mais avançados de ensino, o geossítio apresenta elementos didáticos para coleta de medidas e informações estruturais, como foliações, lineação mineral e movimento de topo (Figura 31b-d).

O próximo ponto do roteiro é o geossítio Sequência tipo *greenstone* de Pedra Branca, representativo da sequência *greenstone belt* interpretada nesta região do Ceará. O afloramento é formado pela intercalação de metarriolito e xistos máficos ricos em actinolita. Os temas propostos para este ponto dizem respeito a formação dos depósitos minerais, notadamente cromo e elementos do grupo da platina, o uso sustentável dos recursos naturais não renováveis e as aplicações dos elementos da geodiversidade como matéria-prima para suprimento das necessidades da sociedade atual (Figura 31e-f).

Figura 31 – Elementos culturais e sítios geológicos no município de Pedra Branca



Legenda: a) Bloco de quartzo branco leitoso que dá nome ao município de Pedra Branca. b) Aspecto geral do geossítio Evidências de Cavalgamento Pedra Branca, com destaque para a estrutura de cavalgamento c) Detalhe do afloramento, com destaque para o empilhamento do pacote e presença de dobras intrafoliais e assimétricas. d) Detalhe do geossítio, com destaque para o bandamento gnáissico e presença de  *pods*  de anfíbolito. e) Aspecto geral do pacote quartzo-feldspático que compõe o geossítio Sequência tipo *greenstone* de Pedra Branca. f) Aspecto do xisto-máfico com presença de actinolita (no detalhe) e destaque para avançado grau de alteração da rocha. Fotos da autora.

O roteiro segue para o município de Mombaça, ao longo da rodovia BR-404, onde foram identificadas as rochas mais antigas do Ceará - até o momento. O exemplar de gnaiss tonalítico acinzentado apresenta foliação de alto ângulo com bandamento composicional, além de porções *boudinadas* e dobras intrafoliais. Datações U-Pb indicaram valores em torno de 2,8 Ga (Figura 32a-b). Na mesma rodovia, um pequeno afloramento próximo ao riacho Caconde apresenta estruturas resultantes dos esforços tectônicos da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu. O afloramento é formado por um gnaiss porfiroclástico com textura milonítica, marcado pelo aspecto cominuído dos minerais de feldspato e presença de veios de pseudotaquilito (Figura 32c-d). Para os pontos de Mombaça, a proposta temática é direcionada para o tempo geológico, as características das rochas metamórficas, comparando as estruturas rúpteis e dúcteis dos afloramentos e a discussão sobre o patrimônio geológico e sua conservação.

Figura 32 – Sítios geológicos no município de Mombaça



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio Gnaiss Tonalítico de Mombaça. b) Detalhe do geossítio com destaque para o bandamento e para dobras intrafoliais. c) Aspecto geral do afloramento Milonitos de Mombaça, formado por gnaiss milonitizado. d) Detalhe do gnaiss milonitizado, com destaque para o aspecto cominuído dos minerais. Fotos da autora.

Em Senador Pompeu, o enfoque do percurso se direciona para aspectos históricos e para a dinâmica climática do semiárido. O primeiro ponto a ser visitado é o Açude Patu e o sítio histórico formado por ruínas da Vila dos Ingleses construída durante as obras do açude (Figura 33a-d). Neste local, o principal elemento histórico diz respeito a um antigo campo de concentração para os flagelados da crise hídrica que afetou o nordeste do Brasil em meados das décadas de 1920 e 1930 (PIMENTEL, 2018). Deste ponto, o percurso se dirige para a BR-226, com parada na ponte sobre o Rio Banabuiú (Figura 33e-f). Este rio abastece o açude de mesmo nome, integrante do sistema de reservatórios para abastecimento público do Ceará, sendo considerado o principal afluente do Rio Jaguaribe. Juntos, estes pontos representam uma oportunidade de se discutir os aspectos climáticos do Sertão Central, sua relação com a ocupação do território e o papel das políticas públicas na vida da população sertaneja.

Figura 33 – Elementos históricos e da geodiversidade do município de Senador Pompeu



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) e b) Ruínas da Vila dos Ingleses, construída no início do século XX para os funcionários da empresa responsável pela obra do Açude Patu, a construção b) tem brasão datado de 1922. c) aspecto geral da barragem do Açude Patu. d) perfil ao lado do açude, com intercalação de xistos e anfibólitos, ambos em estágio avançado de alteração. e) detalhe do gnaisse encontrado na base do açude. f) Vista do rio Banabuiú a partir da ponte do km-166 da rodovia BR-226.

O sítio Lagoa do Fofô é o último ponto deste roteiro e está localizado no sudeste do município de Quixeramobim, na localidade de Encantado. Novamente, as rochas ganham destaque como componente da paisagem e como tela para o registro arqueológico de populações ancestrais. O sítio Lagoa do Fofô é um dos inselbergues localizados nesta região, sendo formado pelos granitos neoproterozoico relativos ao supercontinente Gondwana (Figura 34). Quatro temas principais podem ser abordados neste local: as rochas neoproterozoicas, como último capítulo da evolução geológica pré-cambriana da região; as feições geomorfológicas e as características da paisagem sertaneja; a ocupação do território documentada pelo registo arqueológico e; as relações entre patrimônio geológico e arqueológico.

Figura 34 – Açude Encantado e Sítio da geodiversidade Lagoa do Fofô, em Quixeramobim



Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: a) Aspecto geral do Açude Encantado e conjunto de inselbergues cristalinos ao fundo, no qual o sítio da geodiversidade Lagoa do Fofô está inserido. b) Detalhe da rocha encontrada na Lagoa do Fofô. c) detalhe de umas das pinturas rupestres do sítio – as cores foram saturadas para destacar o conteúdo arqueológico.

## 8. CONCLUSÕES

Este estudo se dedicou à proposição de estratégias de geoconservação para o fomento do desenvolvimento sustentável em regiões de vulnerabilidade socioeconômica, ao mesmo tempo em que discutiu conceitos e práticas aplicadas para a conservação dos elementos excepcionais da geodiversidade. Estas ações foram pautadas pelo uso de métodos sistemáticos para seleção e avaliação dos geossítios e sítios de geodiversidade, a fim de minimizar a subjetividade no processo de avaliação e reiterar o caráter científico do inventário.

O desenvolvimento do inventário baseado em categorias temáticas geológicas (*geological frameworks*) facilitou o processo de seleção dos geossítios, e possibilitou que o conjunto dos sítios geológicos (geossítios e sítios da geodiversidade) inventariados representassem as principais etapas da evolução geodinâmica do domínio. Este método também auxiliou na escolha de parâmetros mais realistas no processo de avaliação quantitativa, especialmente no que diz respeito à avaliação da representatividade. De modo mais amplo, o método utilizado permite que os sítios geológicos aqui definidos sejam avaliados comparativamente em diferentes escalas. Assim, o patrimônio geológico do DCC pode ser considerado na construção de um futuro inventário nacional de sítios geológicos, conforme proposto pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Por sua vez, as categorias geológicas deste inventário podem ser utilizadas em inventários na porção sudoeste do DCC e em outros domínios da Província Borborema, como o Domínio Médio Coreaú. Durante o desenvolvimento do inventário, dificuldades na obtenção de informações sobre o regime de propriedade impediram a análise detalhada sobre a situação fundiária de alguns locais, de modo que não foi possível a incorporação destas informações de maneira abrangente no diagnóstico dos sítios geológicos.

Considerando o valor científico dos geossítios, para além do caráter conservacionista, inventários sistemáticos apresentam um panorama do estágio atual do conhecimento geológico de uma dada região. Representam acervos que reúnem informações de diversas pesquisas em um único banco de dados, de forma a facilitar o acesso e a divulgação do conhecimento geocientífico. Cabe ressaltar o caráter dinâmico deste inventário, com possibilidades de inclusão ou exclusão de sítios geológicos e revisão das categorias temáticas, conforme o avanço da ciência e novas descobertas e interpretações geológicas para a área avaliada.

A pouca efetividade da legislação ambiental vigente para a proteção do patrimônio geológico é um dos maiores desafios para a geoconservação no Brasil, e não seria diferente no

DCC. Embora parte do patrimônio geológico possa ser protegido direta ou indiretamente por leis ambientais e por leis para proteção do patrimônio histórico e cultural, a maioria dos sítios inventariados no DCC não possuem enquadramento legal do ponto de vista da conservação. Entre os sítios geológicos resguardados por proteção legal, predominam aqueles localizados em áreas classificadas como Área de Preservação Permanente, de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei Federal n 12.651/2012). No entanto, esta é uma medida de proteção indireta que não garante recursos humanos e financeiros para a conservação destes locais.

Muito tem se discutido sobre a aplicabilidade do Sistema Nacional de Unidades de Conservação para resguardo legal dos geossítios, principalmente na categoria Monumento Natural. Isto parece razoável para grandes áreas, como o caso do Monumento Natural Monólitos de Quixadá, que protege mais de um dos sítios geológicos deste inventário. Contudo, como classificar geossítios isolados e de pequenas dimensões, muitas vezes aflorantes em áreas residenciais ou estradas, se uma das premissas das unidades de conservação é a configuração de um espaço territorial? Quem seriam os responsáveis pela gestão e plano de manejo? Os casos observados no DCC sugerem que a incorporação destes geossítios nos planos diretores ou a promulgação de leis municipais específicas para cada ponto parecem uma via mais eficaz para a proteção legal. Embora a proteção da porção abiótica da natureza seja um dos objetivos do SNUC, as peculiaridades do patrimônio geológico precisam ser melhor discutidas nas esferas das políticas públicas de conservação do meio ambiente.

Diversos métodos foram estudados para a avaliação quantitativa dos sítios geológicos, sendo considerada também uma possível adaptação ou desenvolvimento de um novo método; ao final, optou-se por utilizar a plataforma de avaliação *GEOSSIT*, desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Embora ainda não seja consenso na comunidade acadêmica, sendo necessárias algumas adaptações, o uso contínuo e sistemático do *GEOSSIT* poderá contribuir para melhorias do método, tornando-o mais adequado para a realidade brasileira. Cabe considerar que dificilmente um método de avaliação atenderá plenamente as peculiaridades de cada inventário no Brasil, devido às dimensões e à heterogeneidade do território nacional. Por outro lado, o desenvolvimento de métodos específicos para cada caso aparenta ser contraproducente pois, sob contexto nacional, não será possível comparar e unificar inventários avaliados por métodos distintos.

A avaliação quantitativa demonstrou o valor científico do patrimônio geológico do DCC, corroborando para o método adotado no processo de seleção dos geossítios. O risco de degradação moderado confirmou o bom estado de conservação dos sítios geológicos observados em campo e o alto risco de degradação obtido por alguns poucos sítios ocorreu,

sobretudo, em função das dimensões, localização e facilidade de acesso. Este grupo de alto risco requer urgência no que diz respeito a implementação de medidas, reiterando a necessidade de ações de sensibilização junto à comunidade local e ao poder público competente.

A avaliação também permitiu concluir que os sítios com conteúdos geomorfológicos se configuram como os principais elementos para a construção de estratégias de geoconservação voltadas para o geoturismo e educação no DCC, principalmente em função dos atributos cênicos e de associações com interesses arqueológicos, ecológicos ou culturais. Já os resultados obtidos com a avaliação das prioridades de proteção oferecida pelo *GEOSSIT* apresentaram contradições conceituais, em que sítios classificados como prioritários não obtiveram relevante potencial de uso. A revisão proposta para o método corrigiu as incongruências para o conjunto dos sítios geológicos aqui apresentados.

Outro ponto relevante do trabalho diz respeito à busca pela aplicação da avaliação quantitativa de modo prático e objetivo no delineamento das estratégias de geoconservação. Estes esforços foram direcionados para a delimitação de territórios para o plano piloto de geoconservação, e para o diagnóstico dos sítios geológicos que fundamentou a proposição de diretrizes para conservação e uso sustentável do patrimônio geológico e da geodiversidade do Sertão Central – selecionado para o plano piloto.

No que concerne as vocações do Sertão Central para a geoconservação, a paisagem rochosa configura-se como principal atrativo para este fim, congregando elementos geológicos, geomorfológicos, biológicos (caatinga) e culturais já regionalmente reconhecidos, mas abordados somente no turismo tradicional. No campo da educação, o uso dos sítios geológicos como recurso didático para ensino das geociências pode ser ampliado para além do nível superior, considerando as adaptações necessárias para outros níveis de ensino, a depender do potencial educativo de cada sítio geológico.

A população residente na área de estudo deve ser a principal usuária e beneficiária do patrimônio geológico aqui descrito, em vista disso, as estratégias de geoconservação no Sertão Central foram direcionadas para o subsídio de iniciativas sustentáveis no semiárido cearense, por meio do geoturismo e de práticas educativas. Nesse sentido, os roteiros geológicos propostos convergem para o maior aproveitamento dos potenciais de uso dos sítios geológicos, e podem ser o ponto de partida para a promoção da identidade cultural, do sentido de pertencimento da população sobre o patrimônio geológico local e para a geração de renda com base nos recursos não extraíveis da geodiversidade.

Apesar deste estudo não se dedicar à análise do território sob perspectiva dos geoparques, os municípios avaliados no Sertão Central cearense, nomeadamente Quixadá e



Quixeramobim, possuem patrimônio geológico de relevância internacional e características com potencial para a construção de uma proposta de geoparques, conforme diretrizes do Programa de Geociências e Geoparques da UNESCO.

A análise e construção das estratégias de geoconservação discutidas ao longo da tese têm respaldo nas inúmeras iniciativas implementadas nas últimas duas décadas, principalmente no que se refere aos atuais Geoparques Mundiais da UNESCO, além de casos brasileiros como os geossítios Rocha Moutonnée e Varvito de Itu, no interior do Estado de São Paulo, e o projeto Caminhos Geológicos, no Estado do Rio de Janeiro. A proteção do patrimônio geológico defendida nesta tese reitera o papel de vanguarda do estado do Ceará na implementação de medidas geoconservacionistas, que se iniciou com a criação do Araripe Geopark, pioneiro nas Américas e único geoparque do Brasil até o momento.

Uma vez que as políticas públicas para a conservação do patrimônio geológico ainda são incipientes no Brasil, cabe à comunidade geocientífica o papel de sensibilizar o poder público a respeito da geoconservação, e auxiliar os gestores no delineamento das medidas prioritárias para proteção, valorização e divulgação do patrimônio geológico. Por fim, considerando as resoluções da IUCN promulgadas na última década pertinentes a geoconservação, espera-se que este trabalho contribua para o reconhecimento e inserção do patrimônio geológico nas diretrizes locais e nacionais de conservação da natureza.

## REFERÊNCIAS

- AÇUDE do Cedro, tombamento em estudo. **SPHAN**: próMemória, Brasília, n. 25, jul./ago. 1983. Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Boletim\\_25.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Boletim_25.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- ALBANI, R. A.; MANSUR, K. L.; CARVALHO, I. S. Inventário do patrimônio geológico do município de João Dourado – Bahia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. Não paginado.
- ALMEIDA, A. R.; ULBRICH, H. H. G. J.; MCREATH, I. O batólito Quixadá - petrologia e geoquímica. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 29-52, 1999.
- ALMEIDA, M. C. **Avaliação quantitativa de valores da geodiversidade em geossítios do projeto geoparque Seridó**. 2016. 80 p. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- AMARAL, W. S. **Análise geoquímica, geocronológica e termobarométrica das rochas de alto grau metamórfico, adjacentes ao Arco Magmático de Santa Quitéria, NW da Província Borborema**. 2010. 248 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- AMARAL, W. S. *et al.* High-pressure granulites from Cariré, Borborema Province, NE Brazil: tectonic setting, metamorphic conditions and U–Pb, Lu–Hf and Sm–Nd geochronology. **Gondwana Research**, [S.l.], v. 22, n. 3-4, p. 892-909, 2012.
- ARAÚJO, A. M.; PEREIRA, D. I. A new methodological contribution for the geodiversity assessment: applicability to Ceará State (Brazil). **Geoheritage**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. 1-15, 2017.
- ARAÚJO, C. E. G. **Evolução tectônica da margem ativa neoproterozoica do Orógeno Gondwana Oeste na Província Borborema (NE-Brasil)**. 2014. 243 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- AROUCA GEOPARK. Declaração de Arouca. Arouca, 2011. Disponível em: <[http://www.cm-rouca.pt/portal/images/stories/noticias/Geoparque/declaracao%20de%20arouca\\_pt.pdf](http://www.cm-rouca.pt/portal/images/stories/noticias/Geoparque/declaracao%20de%20arouca_pt.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2018.
- ARTHAUD, M. H. *et al.* Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. **Geological Society of London**, Special Publications, [S.l.], v. 294, n. 1, p. 49-67, 2008.
- ARTHAUD, M. H. **Evolução neoproterozoica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira**. 2007. 170 p. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2007.

BEM, B. N. C. **Estudo do patrimônio geológico de Ipojuca/ PE como subsídio para o desenvolvimento do geoturismo.** 2011. 247 p. Tese (Doutorado) - Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

BENITO-CALVO, A. *et al.* Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. **Earth surface processes and landforms**, [S.l.], v. 34, n. 10, p. 1433-1445, 2009.

BRADBURY, J. **A preliminary geoheritage inventory of the Eastern Tasmania terrane.** Tasmania: Department of Parks, 1993.

BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. **Geodiversidade do estado do Ceará.** Fortaleza: CPRM, 2014.

BRILHA, J. A importância dos geoparques no ensino e divulgação das geociências. **Geologia USP**, São Paulo, v. 5, p. 27-33, 2009. Publicação Especial.

BRILHA, J. *et al.* Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environmental science & policy**, [S.l.], v. 86, p. 19-28, 2018.

BRILHA, J. Geoconservation and protected areas. **Environmental Conservation**, [S.l.], v. 29, n. 3, p. 273-276, 2002.

BRILHA, J. Geoheritage and geoparks. *In*: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management.** Amsterdam: Elsevier, 2018b. cap. 18, p. 323-338.

BRILHA, J. Geoheritage: inventories and evaluation. *In*: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management.** Amsterdam: Elsevier, 2018a. cap. 4, p. 69-86.

BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. **Geoheritage**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 119-134, 2016.

BRILHA, J. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica.** Braga: Palimage Editores, 2005.

BRITO-NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M.; FUCK, R. A. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. **Episodes**, [S. l.], v. 22, n. 3, p.155-166, 1999.

BROCKX, M.; SEMENIUK, V. Geoheritage and geoconservation: history, definition, scope and scale. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, Western Australia, v. 90, n. 2, p. 53-87, 2007.

BUREK, C. V.; PROSSER, C. D. The history of geoconservation: an introduction. *In*: BUREK, C. V.; PROSSER, C. D. **The History of Geoconservation.** London: Geological Society, 2008. p. 1-5.

CARCAVILLA, L. U. **Geoconservación.** Madrid: Catarata, 2012.

CARCAVILLA, L. U.; DURÁN, J. J.; MARTÍNEZ, J. L. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *In: CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA, 7.*, 2008, Las Palmas de Gran Canaria. **Anais...** Las Palmas de Gran Canaria: Geo-Temas, 2008. v. 10, p. 1299-1303.

CARCAVILLA, L. U.; MARTÍNEZ, J. L.; DURÁN, J. J. **Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación y relación con los espacios naturales protegidos.** Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2007.

CARDOSO, C. S. **Geoparque Seridó RN: Valores turísticos e gestão.** 2013. 143 p. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Turismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

CASTRO, N. A. *et al.* Ordovician A-type granitoid magmatism on the Ceará Central Domain, Borborema Province, NE-Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], v. 36, p. 18-31, 2012.

CASTRO, N. A. **Evolução geológica proterozoica da região entre Madalena e Taparuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema).** 2004. 212 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAVALCANTE, J. C. *et al.* **Mapa geológico do Estado do Ceará.** Fortaleza: Secretaria das Minas e Energia: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.

CEARÁ. **Decreto n. 26.805, de 25 de outubro de 2002.** Declara Unidade de Conservação de Proteção Integral do tipo Monumento Natural os campos de inselbergues situados no Município de Quixadá. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, 31 out. 2002, p. 3. Disponível em: <<http://imagens.seplag.ce.gov.br/PDF/20021031/do20021031p01.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

CEARÁ. **Lei Complementar n. 154, de 20 de outubro de 2015.** Define as regiões do Estado do Ceará e suas composições de municípios para fins de planejamento. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, 22 out. 2015, p. 1-2. Disponível em: <<http://imagens.seplag.ce.gov.br/PDF/20151022/do20151022p01.pdf#page=1>> Acesso em: 10 ago. 2017.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 1991.

CORATZA, P.; HOBLÉA, F. The specificities of geomorphological heritage. *In: REYNARD, E.; BRILHA, J. Geoheritage: assessment, protection, and management.* Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 5, p. 87-106.

CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H. Potencial geoturístico do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Cultura e Turismo**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 86-113, 2014.

COSTA, F. G. *et al.* Geochemistry and U–Pb zircon ages of plutonic rocks from the Algodões granite-greenstone terrane, Troia Massif, northern Borborema Province, Brazil: implications

for paleoproterozoic subduction-accretion processes. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], v. 59, p. 45-68, 2015.

DANTAS, M. E. *et al.* Origem das paisagens. *In*: BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. **Geodiversidade no Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014.

DECLARAÇÃO INTERNACIONAL DOS DIREITOS À MEMÓRIA DA TERRA, Digne-Les-Bains, 1991. Disponível em:  
<[http://portal.iphan.gov.br/uploads/temp/Declaracao\\_Internacional\\_dos\\_Direitos\\_a\\_Memoria\\_da\\_Terra.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/temp/Declaracao_Internacional_dos_Direitos_a_Memoria_da_Terra.pdf)>. Acesso em: 06 mar. 2018.

DEL LAMA, E. A. *et al.* Urban geotourism and the old centre of São Paulo city, Brazil. **Geoheritage**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 147-164, 2014.

DELGADO, I. M. *et al.* Geotectônica do escudo Atlântico. *In*: Bizzi, L. A. *et al.* (Org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM, 2003.

DOWLING, R. Geotourism's global growth. **Geoheritage**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 1-13, 2010.

DUNLOP, L; LARWOOD, J. G.; BUREK, C. V. Geodiversity action plans: a method to facilitate, structure, inform and record action for geodiversity. *In*: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage**: assessment, protection, and management. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 3, p. 53-65.

ERIKSTAD, L. History of geoconservation in Europe. *In*: BUREK, C. V.; PROSSER, C. D. **The history of geoconservation**. London: Geological Society, 2008. (Special Publications, 300).

FARSANI, N. T.; COELHO, C.; COSTA, C. Geotourism and geoparks as novel strategies for socio-economic development in rural areas. **International Journal of Tourism Research**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 68-81, 2011.

FASSOULAS, C. *et al.* Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management. **Geoheritage**, [S.l.], v. 4, n. 3, p. 177-193, 2012.

FERREIRA, M. W. S. **Enquadramento legal e institucional para a promoção da geoconservação no Brasil e propostas de desenvolvimento**. 2016. 141 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade do Minho, Braga, 2016.

FERREIRA, R. V. *et al.* Inventário de sítios geológicos e geomorfológicos para embasar proposta de criação do geoparque Cânion do Rio São Francisco, Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. Não paginado.

FETTER, A. H. *et al.* Evidence for neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 265-273, 2003.

FETTER, Allen H. *et al.* U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará state, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent "Atlantica". **Brazilian Journal of Geology**, [S.l.], v. 30, n. 1, p. 102-106, 2000.

FRANÇA, L. F. O. **Geodiversidade como ferramenta para o desenvolvimento geoturístico do município de Lagoa dos Gatos- Pernambuco**. 2015. 256 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

FUERTES-GUTIÉRREZ, I.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E. Geosites inventory in the Leon Province (northwestern Spain): atool to introduce geoheritage into regional environmental management. **Geoheritage**, [S.l.], v. 2, n. 1-2, p. 57-75, 2010.

GARCIA, M. G. M.; ARTHAUD, M. H. Caracterização de trajetórias P-T em nappes brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena - Ceará Central. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 17, n. 2, p.173-191, 2004.

GARCIA, M. G. M.; SANTOS, T. J. S.; AMARAL, W. S. Provenance and tectonic setting of neoproterozoic supracrustal rocks from the Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): constraints from geochemistry and detrital zircon ages. **International Geology Review**, [S.l.], v. 56, n. 4, p. 481-500, 2014.

GARCÍA-CORTÉS, Á.; CARCAVILLA, L. U. **Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)**. 2. ed. Madrid: Instituto Geológico y Mínero de España, 2009. Versión 18-07-2013.

GONGGRIJP, G. P. Planning and management for geoconservation. *In*: BARRENTINO, D.; WIMBLEDON, W.; GALLEGRO, E. **Geological heritage: its conservation and management**. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 2000. cap. 2, p. 29-45.

GRAY, M. Geodiversity: developing the paradigm. **Proceedings of The Geologists' Association**, London, v. 119, n. 1, p. 287-298, 2008.

GRAY, M. Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. *In*: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 1, p. 13-26.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. 2nd ed. London: John Wiley & Sons, 2013.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. London: John Wiley & Sons, 2004.

GUIMARÃES, T. O.; MARIANO, G.; SEABRA, G. Estratégias de geoconservação através da inventariação e quantificação de geossítios: Parque Estadual da Pedra da Boca – Plúton Monte Gameleiras – Araruna/ PB. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 22, n. 2, p. 77-92, 2012.

HENRIQUES, M. H. *et al.* Geoconservation as an emerging geoscience. **Geoheritage**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 117-128, 2011.

HILARIO, A. O. **El biotopo del flysch: un viaje por la vida y el tiempo**. 3. ed. [S.l.], Gipuzkoako Foru Aldundia, 2012.

HJORT, J.; HEIKKINEN, R. K.; LUOTO, M. Inclusion of explicit measures of geodiversity improve biodiversity models in a boreal landscape. **Biodiversity and Conservation**, [S.l.], v. 21, n. 13, p. 3487-3506, 2012.

HOSE, T. A. European geotourism: geological interpretation and geoconservation promotion for tourists. In: BARRENTINO, D.; WIMBLEDON, W.; GALLEGO, E. **Geological heritage: its conservation and management**. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 2000. cap.1, p. 127-146.

HOSE, T. A. Selling the story of Britain's stone. **Environmental interpretation**, [S.l.], v. 2, p. 16-17, 1995.

IBGE. **Cidades**. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

IUCN. **Geodiversity, world heritage and IUCN**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.iucn.org/theme/world-heritage/our-work/global-world-heritage-projects/geodiversity-world-heritage-and-iucn>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

KOZLOWSKI, S. Geodiversity: the concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, Varsóvia, v. 52, n. 8, p. 833-837, 2004.

LIMA, E. R.; ROCHA, A. J. D.; SCHOBENHAUS, C. Geossit: uma ferramenta para o inventário de geossítios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2012, Santos. **Anais...**, São Paulo: SBG, 2012. Não paginado.

LIMA, F. F.; BRILHA, J.; SALAMUNI, E. Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. **Geoheritage**, [S.l.], v. 2, n. 3-4, p. 91-99, 2010.

LIMA, F. F.; SCHOBENHAUS, C.; NASCIMENTO, M. A. L. Patrimonio geológico y su conservación en América Latina Situación y perspectivas nacionales: Brasil. In: PRIETO, J. L. P. **Geografía para el siglo XXI: Libros de investigación**. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 2016. cap. 4, p. 55-79.

LIMA, L.; Cruz, M. J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

LOPES, L. S. de O.; ARAÚJO, J. L. L.; NASCIMENTO, M. A. L. Inventário e quantificação do patrimônio geológico do Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí. **Revista Equador**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 58-76, 2013.

MACADAM, J. Geoheritage: getting the message across.: what message and to whom? In: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 15, p. 267-288.

MAIA, R. P. *et al.* Geomorfologia do campo de inselbergues de Quixadá, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 239-253, 2015.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R.; CLAUDINO-SALES, V. Geomorfologia do nordeste: concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento. **Revista de Geografia**, Recife, n. 1, p. 6-19, 2010.

MANSUR, K. L. **Diretrizes para geoconservação do patrimônio geológico do Estado do Rio de Janeiro**: o caso do Domínio Tectônico Cabo Frio. 2010. 214 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010a.

MANSUR, K. L. Ordenamento territorial e geoconservação: análise das normas legais aplicáveis no Brasil e um caso de estudo no Estado do Rio de Janeiro. **Geociências**, Rio Claro, v. 29, n. 2, p. 237-249, 2010b.

MARQUES, F. A. **Solos do Nordeste**. Recife: EMBRAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014.

MARTILL, D. M. The age of the Cretaceous Santana formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: a historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its palaeobiota. **Cretaceous Research**, [S.l.], v. 28, n. 6, p. 895-920, 2007.

MARTINI, G. *et al.* Reflections about the geotourism concept. *In*: EUROPEAN GEOPARKS CONFERENCE, 11., 2012, Arouca. **Proceedings...** Arouca: Associação Geoparque Arouca, 2012. p. 187-188.

MARTINI, G. Geoparks, avision for the future. **Geologia USP**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 85-90, 2009. Publicação Especial.

MCKEEVER, P. J.; ZOUROS, N. Geoparks: celebrating earth heritage, sustaining local communities. **Episodes**, [S.l.], v. 28, n. 4, p. 274-278, 2005.

MEIRA, S. A.; MORAIS, J. O. Inventário e avaliação do patrimônio geológico do Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará, Brasil. **Ateliê Geográfico**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 53-76, 2018.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: a framework for assessment**. Washington: Island Press, 2003, 212 p.

MOREIRA, J. C. Geoturismo: uma abordagem histórico-conceitual. **Turismo e Paisagens Cársticas**, Campinas, v. 1, n. 3, p. 5-10, 2010.

NASCIMENTO, M. A. L.; FERREIRA, R. V. Seridó (RN). *In*: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. (Org.). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. p. 361-416.

NASCIMENTO, M. A. L.; MANSUR, K. L.; MOREIRA, J. C. Bases conceituais para entender geodiversidade, patrimônio geológico, geoconservação e geoturismo. **Revista Equador**, Teresina, v. 4, n. 3, p. 2-22, 2015.



- NASCIMENTO, M. A. L.; RUCHKYS, Ú. A.; MANTESSO-NETO, V. Geoturismo: um novo segmento do turismo no Brasil. **Global Tourism**, [S.l.], v. 3, n. 2, 2007. Não paginado.
- NEWSOME, D.; DOWLING, R. Geoheritage and geotourism. *In*: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection and management**. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 17, p. 305-318.
- NEWSOME, D.; DOWLING, R. The scope and nature of geotourism. *In*: NEWSOME, D. **Geotourism: sustainability, impacts and management**. Amsterdam: Elsevier, 2006. cap. 1, p. 2-25.
- NIETO, L. M. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. **Boletín Geológico y Minero**, Madrid, v. 112, n. 2, p. 3-11, 2001.
- NOGUEIRA, J. F. **Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu - Ceará**. 2004. 140 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- ÓLAFSDÓTTIR, R.; DOWLING, R. Geotourism and geoparks: atool for geoconservation and rural development in vulnerable environments: acase study from Iceland. **Geoheritage**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 71-87, 2013.
- OSBORNE, R. A. L. Geodiversity: green geology in action. **Proceedings of the Linnaean Society of New South Wales**, [S.l.], v. 122, p. 149-173, 2000.
- PANIZZA, M. Geomorphosites: concepts, methods and examples of geomorphological survey. **Chinese Science Bulletin**, [S.l.], v. 46, p. 4-5, 2001. Supl. 1.
- PARKS, K. E.; MULLIGAN, M. On the relationship between a resource-based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. **Biodiversity and Conservation**, [S.l.], v. 19, n. 9, p. 2751-2766, 2010.
- PEREIRA, D. I. *et al.* Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. **Environmental Management**, [S.l.], v. 52, n. 3, p. 541-552, 2013.
- PEREIRA, D. I. Geologia e património natural (geodiversidade): geoturismo e geoparques em Portugal. *In*: NEIVA, J. M. C. *et al.* (Org.). **Ciências geológicas: ensino, investigação e sua história: geologia aplicada**. Lisboa: Associação Portuguesa de Geólogos e Sociedade Geológica de Portugal, 2010a. cap. 4, p. 475-481.
- PEREIRA, R. G. F. A. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia - Brasil)**. 2010b. 295 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade do Minho, Braga, 2010.
- PIMENTEL, A. Lei de Patrimônio deve beneficiar Sítio Histórico de Senador Pompeu. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 31 mar. 2018. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/regiao/lei-de-patrimonio-deve-beneficiar-sitio-historico-de-senador-pompeu-1.1916554>>. Acesso em: 15 set. 2018.

- PINTO, A. B. C. **Geodiversidade e património geológico de Salvador: uma diretriz para a geoconservação e a educação ambiental**. 2015. 332 p. Tese (Doutorado) - Pós-graduação em Ciências, Universidade do Minho, Braga, 2015.
- PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. (Brasil). **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/Ranking-IDHM-Municipios-2010.aspx>>. Acesso em: 11 nov. 2015.
- PONCIANO, L. C. M. O. *et al.* Tafocenoses da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí: Mapeamento, inventário e relevância patrimonial. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [S.l.], v. 351, n. 1, p. 5-27, 2012.
- PROCHOROFF, R. C.; BRILHA, J. Preliminary study in Serra da Capivara National Park (Piauí, Brazil): integrating geological and archaeological heritage in a world heritage site. *In*: HILARIO A. O. *et al.* (ed.). **Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos**. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2015. p. 43-47. (Cuadernos del Museo Geominero, n. 18).
- PROSSER, C. D.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; LARWOOD, J. G. H. Conservation of geosites: principles and practice. *In*: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 11, p. 193-212.
- QUIXADÁ. **Autógrafo de Lei n. 1093, de 14 de abril de 2000**. Aprova o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Quixadá e dá outras providências. Quixadá, CE, 2000.
- RABELO, F. *et al.* **Ceará: uma análise regional**. Fortaleza: Secretaria do Desenvolvimento Econômico, 2016. (Texto para Discussão). Disponível em: <<http://www.cede.ce.gov.br/biblioteca/Ceara-Uma-Analise-Regional.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2016.
- REYNARD, E. *et al.* A method for assessing «scientific» and «additional values» of geomorphosites. **Geographica Helvetica**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 148-158, 2007.
- REYNARD, E. The assessment of geomorphosites. *In*: REYNARD, E.; CORATZA, P.; REGOLINI-BISSIGI, G. (ed.). **Geomorphosites**. Munique: Pfeil Verlag, 2009. p. 63-71.
- REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2018.
- ROCHA, A. J. D.; LIMA, E.; SCHOBENHAUS, C. Aplicativo GEOSSIT: nova versão. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, 2016. p. 6389.
- ROCHA, A. J. D.; PEDREIRA, A. J. Morro do Chapéu (BA). *In*: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. (Org.). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. p. 59-110.
- ROCHA, D. **Rota dos Geossítios do Arouca Geopark: guia**. Arouca: Associação Geoparque Arouca, 2016.

RODRIGUES, M. L.; FONSECA, A. A valorização do geopatrimônio no desenvolvimento sustentável de áreas rurais. *In: COLÓQUIO IBÉRICO DE ESTUDOS RURAIS*, 7., 2008, Coimbra. **Comunicações...** [S.l.], 2008. Não paginado.

RODRIGUES, M. L.; MACHADO, C. R.; FREIRE, E. Geotourism routes in urban areas: preliminary approach to the Lisbon geoheritage survey. **GeoJournal of Tourism and Geosites**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 281-294, 2011.

ROMÃO, R. M.; GARCIA, M. G. M. Initiatives of inventory and quantification of geological heritage in Brazil: an overview. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 2, p. 250-265, 2017.

RUCHKYS, Ú. A.; MANSUR, K. L.; BENTO, L. C. M. A historical and statistical analysis of the brazilian academic production, on master's and PhD level, on the following subjects: geodiversity, geological heritage, geotourism, geoconservation and geoparks. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 1, p.180-190, 2017.

SALES, V. C.; PEULVAST, J. P. Evolução morfoestrutural do revelo da margem continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, [S.l.], v. 7, n. 20, p. 1-21, 2007.

SÁNCHEZ, J. P.; GARCIA, M. G. M. A cratera de impacto do Cerro do Jaraú-RS, Brasil: uma abordagem geoturística. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 2, n. 21, p. 102-110, 2013.

SANTOS, E. M. **A geoconservação como ferramenta para o desenvolvimento sustentável em regiões semiáridas**: estudo aplicado a mesorregião do agreste de Pernambuco, nordeste do Brasil. 2016. 242 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SANTOS, E. M. **Diagnóstico da geodiversidade e potencial geoturístico do município de Bonito, Agreste de Pernambuco**. 2012. 134 p. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SANTOS, I. P. L. **Geossítios na região de Nordestina, Bahia: uma alternativa para o geoturismo e para o desenvolvimento sustentável**. 2010. 136 p. TCC (Graduação) Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

SANTOS, T. J. S. *et al.* U-Pb age of the coesite-bearing eclogite from NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for western Gondwana assembly. **Gondwana Research**, [S.l.], v. 28, n. 3, p. 1183-1196, 2015.

SANTOS, W. F. S. *et al.* Inventory and assessment of palaeontological sites in the Sousa Basin (Paraíba, Brazil): preliminary study to evaluate the potential of the area to become a Geopark. **Geoheritage**, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 315-332, 2016.

SCHOBENHAUS, C. Inventário do patrimônio geológico do Brasil: metodologia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 49., 2018, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 2018. p. 9431.

SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. **Geoparques do Brasil: propostas**. Brasília: CPRM, 2012.

SHARPLES, C. **A methodology for identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes**. Tasmania: The Forestry Commission, 1993.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Tasmania: Tasmanian Parks & Wildlife, 2002.

SHARPLES, C. Geoconservation in forest management - principles and procedures. **Tasforests**, [S.l.], v. 7, p. 37-50, 1995.

SILVA, C. R. (ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

SILVA, E. G. **Potencial para o geoturismo do município de Gurjão/PB a partir da avaliação de seus geossítios e da percepção da comunidade**. 2015. 118 p. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Turismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SILVA FILHO, W. F. *et al.* **Curso de graduação em geologia: projeto pedagógico**. Fortaleza: UFC, 2013. Disponível em: <[https://si3.ufc.br/sigaa/public/curso/ppp.jsf?lc=pt\\_BR&id=657431](https://si3.ufc.br/sigaa/public/curso/ppp.jsf?lc=pt_BR&id=657431)>. Acesso em: 05 nov. 2017.

SILVA, M. L. N.; NASCIMENTO, M. A. L. Os valores da geodiversidade de acordo com os Serviços Ecossistêmicos *sensu* Murray Gray aplicados a estudos *in situ* na cidade de Natal (RN). **Caderno de Geografia**, [S.l.], v. 26, n. 2, p. 338-354, 2016. Volume especial.

STANLEY, M. Geodiversity. **Earth Heritage**, [S.l.], v. 14, p. 15-18, 2000.

STUEVE, A. M.; COOK, S. D.; DREW, D. **The geotourism study: phase 1 executive summary (relatório)**. Washington: National Geographic Traveler: Travel Industry Association of America, 2002.

THEODOSSIOU-DRANDAKI, I. No conservation without education. *In*: BARRENTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGOS, E. **Geological heritage: its conservation and management**. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 2000. p. 111-125.

TILDEN, F. **Interpreting our heritage**. 3rd ed. Chapel Hill: The University Of North Carolina Press, 1977.

UCEDA, A. C. El patrimonio geológico: ideas para su protección, conservación y utilización. *In*: MIN. OBR. PÚBL. TRANSP. MED. AMBI. (ed.). **El Patrimonio Geológico: bases para su valoración, protección, conservación y utilización**. Madrid: MOPTMA, 1996, p. 17-27.

UNESCO. **Operational guidelines for the implementation of the World Heritage Convention**. Paris: UNESCO World Heritage Centre, 2017. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/en/guidelines/>>. Acesso em: 25 jul. de 2017.

UNESCO. **Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme and operational guidelines for UNESCO Global Geoparks**. Paris: UNESCO, 2015.

UNESCO. **UNESCO Global Geoparks: celebrating earth heritage, sustaining local communities**. Paris: UNESCO, 2016.

VALLEJO, L. R. Os parques e reservas como instrumentos do ordenamento territorial. *In*: ALMEIDA, F. G.; SOARES, L. A. A. **Ordenamento territorial: coletânea de textos com diferentes abordagens no contexto brasileiro**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. cap. 5, p. 157-193.

VILLAS-BOAS, M.; BRILHA, J.; LIMA, F. F. Conservação do patrimônio paleontológico do Geopark Araripe (Brasil): enquadramento, estratégias e condicionantes. **Boletim Paraense de Geociências**, Belém, v. 70, n. 1, p. 156-165, 2013.

WILDNER, W.; FERREIRA, R. V. Fernando de Noronha (PE). *In*: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. (Orgs). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. p. 317-360.

WIMBLEDON, W. *et al.* Geological World Heritage: Geosites: a global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation. **Memorie Descrittive della Carta Geologica D'italia**, [S.l.], v. 54, n. 1, p. 45-60, 1999.

WIMBLEDON, W. *et al.* The development of a methodology for the selection of british geological sites for conservation: part 1. **Modern Geology**, Amsterdam, v. 20, p. 159-202, 1995.

WIMBLEDON, W. Geosites: anew conservation initiative. **Episodes**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 87-88, 1996.

ZOUROS, N. The europeangeoparks network: geological heritage protection and local development. **Episodes**, [S.l.], v. 27, n. 3, p. 165-171, 2004.

ZWOLINSKI, Z.; NAJWER, A.; GIARDINO, M. Methods for assessing geodiversity. *In*: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage: assessment, protection, and management**. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 2, p. 27-52.

**APÊNDICE A - CONSERVAÇÃO DE GEOSÍTIOS COMO INSTRUMENTO  
PARA A PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO: O INVENTÁRIO DO  
DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL, PROVÍNCIA BORBOREMA, NE/BRASIL**



## Conservation of geosites as a tool to protect geoheritage: the inventory of Ceará Central Domain, Borborema Province - NE/Brazil

PÂMELLA MOURA<sup>1,2</sup>, MARIA DA GLÓRIA M. GARCIA<sup>1,2</sup>, JOSÉ B. BRILHA<sup>3</sup> and WAGNER S. AMARAL<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 912/913, 60440-554 Fortaleza, CE, Brazil

<sup>2</sup>Núcleo de Apoio à Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo (GeoHereditas), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, 05508-080 São Paulo, SP, Brazil

<sup>3</sup>Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal

<sup>4</sup>Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Rua Carlos Gomes, 250, Cidade Universitária, 13083-870 Campinas, SP, Brazil

*Manuscript received on August 2, 2017; accepted for publication on October 3, 2017*

### ABSTRACT

The Ceará Central Domain, in the northern Borborema Province/NE Brazil, encompasses important geological records (geosites) which allow understanding a relevant period of the Earth's evolution, mainly associated to Neoproterozoic Brazilian/Pan-African Cycle and West Gondwana amalgamation, besides Neoproterozoic to Ordovician records. The presented geoheritage inventory aims to characterise the geosites with scientific relevance of Ceará Central Domain. By applying a method for large areas, the final selection resulted in eight geological frameworks represented by 52 geosites documented in a single database. This is the first step for a geoconservation strategy based on systematic inventories, statutory protection, geoethical behaviour and awareness about scientific, educational and/or cultural relevance of geosites.

**Key words:** geological heritage, geoconservation, inventory, Borborema Province, Brazil.

### INTRODUCTION

Since the establishment of the first concepts of Geology, the development of Earth Sciences depends on the characterisation and interpretation of geodiversity. In spite of all technological advances of the last decades, a significant part of geological research still depends on observation and study of outcrops. Nevertheless, many outcrops used for scientific and educational purposes were destroyed or modified by human intervention, mainly due

to the growing demand for natural resources and disorderly occupation both in urban and rural areas.

Nature conservation has been a recurrent and valued scientific subject at least since the 1970s, despite predominantly applied to biodiversity conservation. Although some countries have been carrying out geological conservation practices at least since the beginning of the 20th century, like the United Kingdom, Spain and the USA (Carcavilla et al. 2009, Thomas and Warren 2008), it has been often restricted to sites with great scenic beauty and potentially tourism elements, or associated with high-relevant areas in terms of

---

Correspondence to: Pâmella Moura  
 E-mail: [pamella\\_mm@yahoo.com.br](mailto:pamella_mm@yahoo.com.br)

biodiversity or archaeological values, some of them inscribed in the UNESCO's World Heritage list. It was only after the 1990s that geoconservation acquired global scale importance, especially after the First International Symposium for Geological Heritage Conservation (Digne-les-Bains, France, 1991) and the creation of the European Association for the Conservation of the Geological Heritage (ProGEO), in 1992.

In this context, geoconservation emerges as a new area within Earth Sciences in which the knowledge produced may be used to prevent, correct and minimize environmental impacts that cause risk for geoheritage, like inappropriate land use planning (Carcavilla 2012, Henriques et al. 2011). As pointed out by Borba et al. (2013), geoconservation aims the interaction between geoscientists with social issues such as environmental protection, sustainable development, education, and territorial planning. In this sense, geoconservation is a valuable tool on public policies.

In order to promote the inventory and conservation of the most representative geosites in terms of geological events, processes and features both on the national and international scale, in 1995 the International Union Geological Science (IUGS) created the GEOSITES Project (Wimbledon 1996). This project was an evolution of the former Global Indicative List of Geological Sites (GILGES), associated to the Global Database of Geological Sites of IUGS, which aimed a systematic selection of geosites based on specific geological frameworks, enabling their comparison in several scales (Wimbledon et al. 1999). According to Wimbledon (1996), the GEOSITES Project assumed that development of geosciences depends on complete access to a broad assortment of outcrops, both for scientific research and teaching. Despite this project had been closed by IUGS in the 2000s, its great importance was to encourage conservation of scientific relevant geosites, even if they do not constitute scenic or tourist attractions.

In this scenario, the Brazilian Commission for Geological and Palaeobiological Sites (SIGEP) was created in 1997 in response to a request from IUGS to propose new sites for feeding the GEOSITES database. The Brazilian Geological Survey's (CPRM) Geoparks Project was created in 2006 and also reflects the response of the Brazilian geological community to a worldwide demand. In this sense, the Araripe UNESCO Global Geopark is the most symbolic example of this process in Brazil, holding mechanisms to protect high scientific value sites, such as Pedra Cariri Geosite, one of the worlds' most important Cretaceous fossil sites. As an attempt to unify information on Brazilian geosites, CPRM also developed the GEOSSIT Platform as an assistance tool to register the inventory and quantitative evaluation at the national scale (Rocha et al. 2016, Schobbenhaus et al. 2015).

#### FOUNDATIONS FOR GEOCONSERVATION

One of the main targets on geoconservation is to define which geologically important sites should be conserved. How to select, among many possibilities, the most representative sites in terms of the geological history of a certain area? The way to solve this issue is to promote geosites selection by means of inventory (Brilha 2016, Henriques et al. 2011). Therefore, inventories must have well-defined objectives and methods and also evaluate geosites according to both specific scales and geological frameworks (Carcavilla et al. 2009, Lima et al. 2010, Wimbledon 1996). In this perspective, the geological heritage represents the group of geosites and/or other geodiversity elements systematically selected in such inventories.

Giving their decisive role for the selection of sites that will have priority on geoconservation policies, there are many inventory methods. Among these, the one from Brilha (2016) allows a separation between sites that are scientifically important (geosites) from those whose geodiversity



elements are associated with other features, like great scenic beauty, recreational or educational values etc. (geodiversity sites). According to the method, potential geosites are compared within the same geological framework, allowing selection of the most representative in each category. Protection and conservation actions could be thus prioritised, especially when there is a lack of financial or other resources. In this way, while geosites reflect the scientific relevance of geoheritage, geodiversity sites may be valuable tools in the popularisation of science, teaching, and geotourism.

Another fundamental issue for geoconservation is the existence of laws guaranteeing the protection of geosites. In Brazil, there is a legal framework only focusing on protect specific occurrences, as speleological or paleontological heritage. For the other cases, this matter has been solved by adjustment of both environmental and cultural heritage laws. Mansur (2010b) suggests the wide use of the Brazilian National System for Conservation Units - SNUC (Brazil Federal Law 9.985/2000) and law for the protection of Brazilian National Historic and Artistic Heritage (Brazil Federal Decree 25/1937) for the conservation of geosites. Recently, Lima et al. (2016) reiterate the application of SNUC, as well as the Brazilian Forest Code (Brazil Federal Law 12.651/2012). These authors propose the use of both Permanent Protection Areas and Legal Reserve on rural properties modalities as tools for geoconservation.

However, without accompanied by strong recognition and belonging sense by local communities, legal protection laws are insufficient to assure geosites conservation. Lack of awareness among the population about the necessity to protect geoheritage can be the major obstacle to its conservation (Mansur 2010b). Moreover, geosites conservation by the geoscience community is another side of the same issue. Many outcrops are damaged when serving to scientific purpose, either by indiscriminate or destructive sampling methods,

especially drill coring (Butler 2015, Druget et al. 2013).

This scenario is a problem worldwide and even more serious in countries where part of geosciences community has not yet recognised the importance of geoheritage conservation. In Brazil, for example, Earth Sciences students are encouraged to indiscriminate hammering and field sampling, even without a clear scientific/educational purpose, so endangering the quality and the integrity of outcrops. This behaviour clearly indicates a gap between theory and practice on geological heritage conservation. Thus, application of geoethical educational principles can reduce possible damages due to scientific and educational uses and also guide the geosciences community on the execution of its activities (Druget et al. 2013, Mansur et al. 2017). Geoethics represents an opportunity for geoscientists to become more conscious of their social role and responsibilities in conducting their activities (IAPG 2012). In Europe, where geoconservation is better established, rock sampling by undergraduate students during fieldworks and didactic practices are usually not allowed by universities, and even for research, a prior license can be required. The *Geological Fieldwork Code* and the *Code of Conduct for Rock Coring* developed by the Geologists' Association of the United Kingdom are in consonance with this ethical proposal, introducing good practices in field works and rock sampling. Thus, geoconservation and geoethical behaviour need to be together in order to achieve geoheritage protection.

As a first and crucial stage in any geoconservation action, the inventory presented here aims to characterise the geoheritage occurring in the central-northern portion of the Ceará Central Domain (CCD), and also to use the geosites for reconstructing its geological history. The CCD is one of the tectonic domains of Borborema Province presenting relevant geological records associated with Paleo- to Neoproterozoic orogenic

events, mainly the Brasiliano-Pan African Cycle (Brito Neves et al. 1999). Arid climatic conditions favoured the exposition and preservation of relevant outcrops to the geosciences, whether for research or teaching. Beyond the clear scientific relevance concerning recognition and protection, this inventory intends to propose geosites that can contribute to a future and systematic inventory of geological heritage in Brazil.

#### GEOLOGICAL SETTING

The CCD is the most expressive geotectonic unit of the Northern Borborema Province and occupies most of the Ceará State (Figure 1). It is limited by the Senador Pompeu Shear Zone, to the southeast, and the Transbrasiliano Lineament (locally Sobral-Pedro II Shear Zone), to the northwest.

According to Fetter et al. (2000) the CCD may be divided into four major litho-structural units: (I) **Archean Nuclei** (Tróia Massif) composed of remnants of tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) sequences, Paleoproterozoic mafic/ultramafic complexes and metavolcanic-sedimentary sequences (Brito Neves et al. 1999, Costa et al. 2015); (II) Paleoproterozoic juvenile **gneissic basement** composed of both para- and orthogneisses, migmatites, and medium-to-high grade metamafic rocks (Arthaud et al. 2008, Fetter et al. 2000); (III) Neoproterozoic volcano-sedimentary **supracrustal sequences** characterised by metapelites and metapsamites, mainly kyanite-muscovite-biotite gneisses, sillimanite-garnet gneisses, quartzites, amphibolites, marbles, granulites and retroeclogites (Amaral et al. 2012, Santos et al. 2015); and (IV) the **Santa Quitéria magmatic arc**, mainly composed of Neoproterozoic plutonic rocks with magmatic arc isotopic signatures (Fetter et al. 2003). These litho-structural units were strongly affected by strike-slip shear zones, at the end of Neoproterozoic, creating expressive records on lithology and designing the

present geometric configuration of the terranes. Later, mainly during the Cretaceous, the inherited structures controlled dissection processes and induced a strong NE-SW alignment of the residual massifs (Peulvast and Sales 2002, Sales and Peulvast 2007). As a result, the present landscape is characterised by large peripheral depressions crosscutted by both residual massifs and crystalline inselbergs (Lima et al. 2000). The CCD also hosts various economic deposits such as iron, manganese, copper, gold, and uranium (e.g. Parente et al. 2015, Veríssimo et al. 2016).

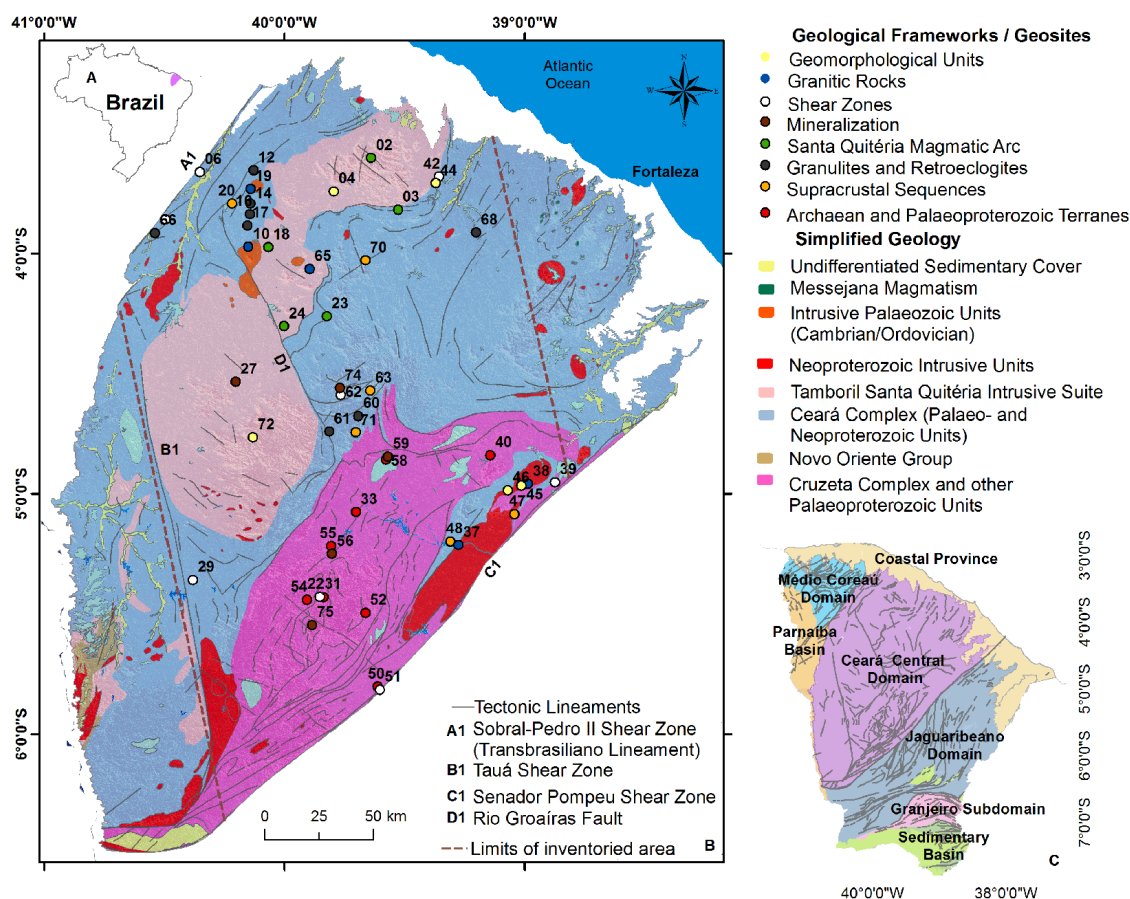
#### MATERIALS AND METHODS

The choice of CCD as the focus of this work is based on the definition of *terrane* following Irwin (1972) and Kearey and Vine (1998). As stated by these authors, a terrane (domain) is “a tectonic-stratigraphy unit that comprises a set of lithotypes individualised by faults or shear zones and characterised by an association of geological features, mainly regarding geodynamic evolutionary processes, which differentiates it from the adjacent terrane”. In this sense, although holding lithotypes of different ages, compositions and geodynamic scenarios, the domain shares a common geological history that would be essential for a good definition of frameworks. In the present study, our area was delimited in centre-north portion of CCD due to the large size of this domain.

Following Brilha's (2016) inventory method and Wimbledon's et al. (1999) framework approach, the development of this inventory can be summarised in four essential steps: a) definition of geological frameworks; b) identification of potential geosites; c) field evaluation of geosites and d) selection and characterisation of geosites.

#### DEFINITION OF GEOLOGICAL FRAMEWORKS

A geological framework is a frequently used tool in national inventories to systematise the geological



**Figure 1 - a)** Located of study area; **b)** Simplified geology of CCD and geosites (indicated by number). Red dashed lines show the limits of the inventoried area. **c)** Northern block of Borborema Province in the Ceará State (modified from Cavalcante et al. 2003).

knowledge of a certain area in terms of the main geological and geomorphological events, in order to ensure the representativeness of geodiversity (Brilha et al. 2005, Wimbledon 1996). In the present inventory, the definition of geological frameworks was made based on tectonic-stratigraphy units described in the Geological Map of Ceará State (Cavalcante et al. 2003), literature reviewing and experts suggestions. The main characteristics, that should be represented by potential geosites, were defined for each framework.

#### IDENTIFICATION OF POTENTIAL GEOSITES

Once geological frameworks were defined, the selection of potential geosites was carried

out through intense literature reviewing and suggestions from experts researching or teaching in the CCD region. These collaborators include essentially members of the Department of Geology at the Federal University of Ceará (UFC) and at the University of Campinas (UNICAMP).

A list with 83 potential geosites was created by means of a worksheet containing basic information such as outcrop descriptions, geological units, justification of scientific value (including information on the available geochronological and geochemical data), rarity, scientific knowledge and literature references, and location with geographical coordinates obtained by GPS, among other relevant documents. As a general rule, the potential geosite list was composed of *i)*

Outcrops either studied or mentioned in scientific publications and technical reports, like the ones produced by the Geological Survey of Brazil (CPRM) and; *ii*) Outcrops frequently visited during field classes of geology courses or included in geological field guides in scientific events. However, some geosites were selected due to their notable geological or geomorphological features, recognised by specialists but without relevant scientific publications yet.

#### FIELD EVALUATION OF GEOSITES

Field activities were carried out during 2015 and 2016 and included a description of the main geological features of the potential geosites, correlation of each site to a specific geological framework, and comparison of preliminary information to the current state of the outcrops. During fieldwork, some potential geosites were not found due to missed information on the location, coordinates, description or because they had been destroyed by natural or human activities.

Each potential geosite was assessed taking into account its integrity, fragility, and vulnerability (natural and anthropogenic threats - such as weathering, landslides, mining, and irregular urban occupation). Detailed photo-documentation, cultural and ecological aspects and rigorous description of locations and access conditions were also performed.

#### SELECTION AND CHARACTERISATION OF GEOSITES

Geosites that constitute the final inventory list are the most representative of each geological framework and were selected based on the data obtained during fieldwork. When two or more geosites had the same geological features, sites with the highest number of scientific publications or with the highest integrity conditions were prioritised. However, sites with high rarity in the

study area, even with low integrity, were selected to the final list.

Each geosite was classified according to its primary geological interest, as well as new interests identified in the present work. These interests represent the major geological characteristic of the geosite, for example: paleontological, geomorphological or igneous. They were also classified according to the size category (Fuertes-Gutiérrez and Fernández-Martínez 2010): area (>1 ha with just one type of interest), complex area (large areas with several interests), point (<1 ha with just one geological feature), section (<1 ha with features having a linear spatial development) and viewpoints (an area of geological interest and its better observatory spot). The geosites were also evaluated regarding Brazilian legal framework: a) Brazilian Law for National Historic and Artistic Heritage Protection (Federal Decree-Law no. 25/1937); b) Brazilian System for Conservation Units - SNUC (Federal Law no. 9.985/2000); c) Brazilian Law for Natural Underground Cavities Protection (Brazil Decree-Law no. 99.556/1990 and 6.640/2008); d) Brazilian Forest Code (Federal Law no. 12.651/2012); and e) other specific laws, when applicable.

#### RESULTS

This inventory resulted in eight geological frameworks (Table I) represented by 52 geosites (Table II and Figure 2). Each geological framework is described and illustrated according to the most relevant characteristics and scientific value, main references and number of selected geosites. Despite the reasonable number of geological literature, some areas still lack more detailed research, especially in the north-east and south-east parts of the CCD. In these areas, it was difficult to find references and suggestions for potential geosites.

Eight main geological interests were identified: geochronological, geodynamics, geomorphological,

TABLE I

**Geological frameworks with justification for scientific value, number of geosites and tectonic-stratigraphy units.**

Justification for Scientific Value	Litho-stratigraphy units (Cavalcante et al. 2003)
<b>Geomorphological Units (Figure 2)</b>	<b>Number of selected geosites: 5</b>
<p>Represent the CCD landscape, composed of relief elements resulting from differential erosion acting on crystalline rock terranes characterised by spatial predominance of peripheral depression crosscut by both residual massifs and inselbergs. Its evolution is related to the uplift of South American continental platform in response to opening and subsidence forces, which preceded the Atlantic Ocean rifting and marginal isostatic compensation in the Cretaceous (Maia et al. 2010, Peulvast and Sales 2002, Sales and Peulvast 2007). Two factors were preponderant to shape these landforms: the Neoproterozoic structural control and the climate variability (backwearing and etching process). Selected geosites aim to represent the most relevant features of CCD relief, especially by means view points that allow the observation of the landscape.</p>	-
<b>Granitic Rocks (Figure 2)</b>	<b>Number of selected geosites: 5</b>
<p>Comprises a diverse granitic assemblage (granodiorites, sienites, sienogranites, monzonites to monzogranites and granites) associated to the Brasiliano-Pan African Cycle, represented by stocks with diameters of a few dozens of metres to ring complexes and large batholiths covering up to 1000 km<sup>2</sup>, like the Quixeramobim Batholith. These granitoids present ages between ca. 590 and 470 Ma, being Ediacaran the period of major granitic generation in CCD despite has remained active during the Middle Ordovician (Almeida et al. 1999, Castro et al. 2012). High-K calc-alkaline composition and K-feldspar phenocrysts (larger than 10 cm) are remarkable features in these rocks. Selected geosites aim to represent the diversity of these rocks and illustrate differences in terms of composition, texture, structure and ages.</p>	<p>Itaporanga Intrusive Calc-alkaline Suite, Meruoca Intrusive Sub-alkaline to Alkaline Suite, Undifferentiated Granitoids</p>
<b>Shear Zones (Figure 2)</b>	<b>Number of selected geosites: 9</b>
<p>This framework encompasses records of intense Neoproterozoic tectonism easily identified in all CCD, being characterised by two types of structures: 1) NE-SW-oriented, preferably dextral, strike slip ductile shear zones, representing significant part of a huge continental shear zone system resulting from continental collision during the Brasiliano-Pan African Cycle (Arthaud et al. 2008); 2) Low-angle, nappe-related structures resulting from regional compressive tectonics that culminated with thrusting of Ceará Complex supracrustal sequences over Cruzeta Complex lithotypes. Records of both structures occur extensively along the CCD. For these selection just representative outcrops of regional shear zones were considered, either for delimiting CCD or for being essential to understand geological processes present in other geosites.</p>	<p>Transbrasiliano Lineament (Sobral-Pedro II Shear Zone) and Shear Zones: Senador Pompeu, Quixeramobim, Sabonete-Inharé, Umirim and Tauá</p>
<b>Mineralization (Figure 2)</b>	<b>Number of selected geosites: 5</b>
<p>Thermo-tectonic events that outlined CCD geological framework support a diversified number of mineralization types, some of them holding high economic and strategic values. In general, these features resulted from either metamorphism of magmatic rocks or metal-bearing sediments, as well as a hydrothermal metasomatic processes related to the Brasiliano-Pan African Cycle. The main record range from Paleoproterozoic PGE-bearing chromitite and BIFs to Neoproterozoic skarns and phosphate-uranium deposits. Selected geosites aims to represent the main CCD mineralization types, mainly regarding their relationship with the geological evolution and economic relevance.</p>	<p>Complex Cruzeta and Complex Ceará</p>

TABLE I (continuation)

Justification for Scientific Value	Litho-stratigraphy units (Cavalcante et al. 2003)
<b>Granulites and Retroeclogites (Figure 3)</b>	<b>Number of selected geosites: 9</b>
<p>High-grade granulite and retrograded eclogite relics have been found in rocks that surround the Tamboril-Santa Quitéria Intrusive Suite. This discovery has been preponderant to understand the geological evolution of the region, especially regarding oceanic subduction processes associated to <i>nappe</i> stacking in the supracrustal sequences during the Brasiliano-Pan-African Cycle. The retroeclogites occurs as garnet-clinopyroxene amphibolite boudins and its main diagnostic features include thin plagioclase coronas around garnet and clinopyroxene and Na-plagioclase symplectites as pseudomorphs of omphacite. Granulite bodies occur usually both as clinopyroxene-garnet amphibolites or enderbites, with pressure and temperature records above 9 kbar e 870° C, respectively (Amaral et al. 2012, 2015, Ancelmi et al. 2015, Santos et al. 2009, 2015). Its selected geosites aim essentially, their rarity and fragility.</p>	<p>Ceará Complex (Canindé and Independência Units)</p>
<b>Santa Quitéria Magmatic Arc (SQMA) (Figure 3)</b>	<b>Number of selected geosites: 5</b>
<p>Comprehends rocks generated during the major magmatic event in the CCD, which is intrinsically connected to Brasiliano-Pan African Cycle and West Gondwana collage. Comprises about 40 km<sup>2</sup> from tonalite to granite anatectic-igneous rocks association brought about by numerous magmatic pulses and recognized as magmatic-arc products. Its evolution occurred between ca. 880 and 600 Ma (Araújo et al. 2012, 2014, Fetter et al. 2003). Selected geosites represent the distinct magmatism phases; taking into account geochronological databases available.</p>	<p>Tamboril-Santa Quitéria Intrusive Suite</p>
<b>Supracrustal Sequences (Figure 3)</b>	<b>Number of selected geosites: 6</b>
<p>These sequences surround the Tamboril-Santa Quitéria Intrusive Suite and comprise various associations of Paleo- to Neoproterozoic terrigenous metasedimentary rocks, mainly metapelites and metapsamites, whose depositional processes are related to the breakup of Rodinia, followed by a development of a magmatic arc (Arthaud et al. 2008). These rocks record low-angle thrusting under medium to high-grade metamorphism during the Brasiliano-Pan African Cycle, resulting in a complex nappe system associated to local shear zones, migmatization and igneous intrusions (Arthaud et al. 2008). Selected geosites seek to represent the most characteristic lithotypes of each unit of the Ceará Complex.</p>	<p>Ceará Complex (Canindé, Independência and Quixeramobim Unit)</p>
<b>Archean and Paleoproterozoic Terranes (Figure 3)</b>	<b>Number of selected geosites: 8</b>
<p>Represents the CCD basement, composed of Archean gneiss TTG nuclei (Tróia Massif), as well as Paleoproterozoic metavolcano-sedimentary greenstone sequences and mafic/metamafic complexes (Cruzeta Complex) and related to Rodinia paleocontinent (Brito Neves et al. 1999, Fetter et al. 2000). It has been subject of many researches particularly by its mining potential and geochronological features, and represents the oldest lithological group from CCD and one of the oldest from Northeastern Brazil. Its geosites aimed the most representative lithotypes of each lithostratigraphic unit on the basis on the geochronological database available.</p>	<p>Pedra Branca Unit, Mombaça Unit, Cruzeta Complex and its sub-units, Algodões Unit, Choró Unit, and Madalena Suite</p>

TABLE II  
Geosites (indicated by number), coordinates, characteristics and references. RC: Road Cut.

Geosites	Coordinates (SIRGAS 2000)	Typological Category	Main Geological Interest	Main References
<b>Archean and Paleoproterozoic Terranes</b>				
Madalena Suite (58)	436050E/9462869S	Area	Igneous Petrology	Costa et al. 2015, G Martins (DT), Oral Communication
Pedra Branca Greenstone Sequence (53)	407142E/9399571S	Point/RC	Metamorphism	AH Fetter (DT), Almeida et al. 2007
Tonalitic Gneiss of Estrema (54)	399650E/9398459S	Point	Geochronological	AH Fetter (DT)
Tonalitic Gneiss of Mombaça (50)	432291E/9358537S	Point/RC	Geochronological	AH Fetter (DT)
Micaschist of Choró-Limão Dam (40)	484170E/9465035S	Point	Metamorphism	Martins and Oliveira 2004, Oral Communication
Metagabbro of Cruzeta Complex (55)	410710E/9423134S	Point	Metamorphism	AH Fetter (DT), MH Arthaud (DT)
Tonalitic Gneiss of Pedra Branca (52)	426553E/9392463S	Point/RC	Metamorphism	AH Fetter (DT), Almeida et al. 2007
Mafic dykes of Boa Viagem (33)	422118E/9438792S	Section/RC	Metamorphism	Oral Communication
<b>Supracrustal Sequences</b>				
Kyanite-Sillimanite Gneiss of Itaira (63)	428736E/9494692S	Point/RC	Metamorphism	NA Castro (DT), Garcia et al. 2014
Metasedimentary Megaxenoliths of Juatama (47)	495195E/9437893S	Area	Geodinamics	Oral Communication
Garnet Schist of Quixeramobim (48)	465675E/9425266S	Area	Metamorphism	Arthaud et al. 1993, Oral Communication
Casa de Pedra Cave (71)	422050E/9475555S	Area	Karst	Oral Communication
Furna dos Ossos (70)	427746E/9555380S	Area	Karst	Cultural landmark
Deformed Gneiss of Forquilha (20)	364737E/9580610S	Section/RC	Metamorphism	WS Amaral (DT)
<b>Granulites and Retroeclogites</b>				
Enderbites of Alto Feliz (66)	329107E/9566993S	Point	Geodinamics	Amaral et al. 2012
Garnet amphibolite of Lagoa do Mato (60)	423153E/9482966S	Point	Geodinamics	Garcia and Arthaud 2004, Oral Communication
Banded Granulites of Apuiarés (68)	477473E/9567377S	Point	Geodinamics	Amaral and Santos 2008, Garcia et al. 2014
High Pressure Sequence of Cabeça de Touro Farm (16)	373011E/9575841S	Point	Geodinamics	Santos et al. 2015

TABLE II (continuation)

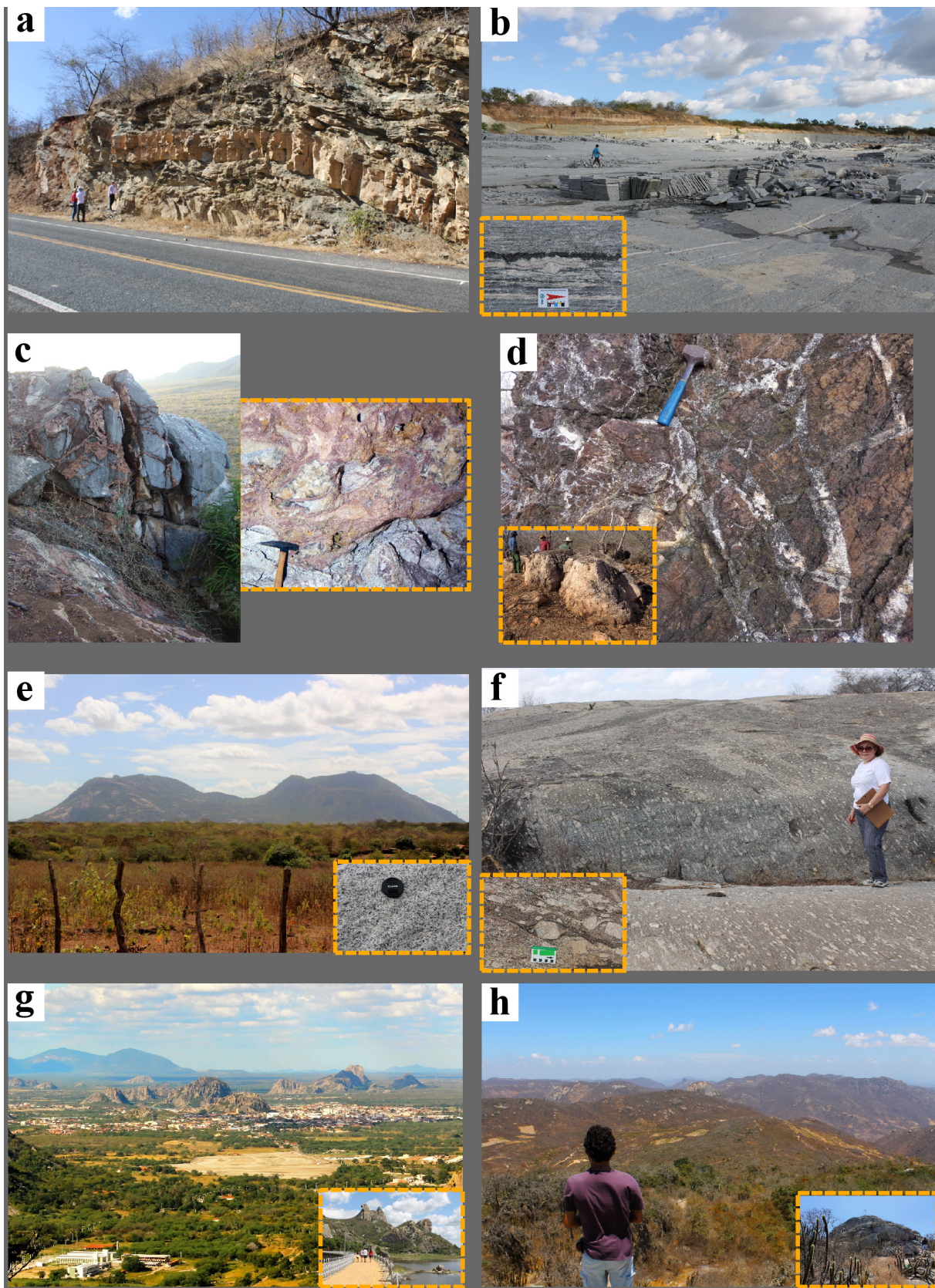
Geosites	Coordinates (SIRGAS 2000)	Typological Category	Main Geological Interest	Main References
Retroclogites of Ipuéiras Farm (12)	374635E/9595921S	Point	Geodynamics	Amaral et al. 2011, 2015, Ancelmi et al. 2013, Santos et al. 2009, 2015
Garnet-Clinopyroxene Amphibolite of Juazeiro do Norte (17)	371929E/9570581S	Point	Geodynamics	Santos et al. 2015
Kinzigit of Cachoeira dos Loretos (14)	373254E/9580705S	Point	Geodynamics	Amaral et al. 2011, 2015, Ancelmi et al. 2013, Santos et al. 2009, 2015
Enderbites of Cariré (05a)	333976E/9573265S	Point	Geodynamics	Amaral et al. 2012, JA Nogueira Neto (DT)
Garnet amphibolites of Boa Viagem (61)	409773E/9475826S	Point	Geodynamics	Garcia and Arthaud 2004, Oral Communication
<b>Santa Quitéria Magmatic Arc</b>				
Biotite Diatexite of Santa Quitéria (24)	388866E/9524241S	Point	Metamorphism	Araújo et al. 2014
Quartz Diorite of Taperauba (18)	381531E/9560586S	Point	Igneous Petrology	Araújo et al. 2014
Biotite Monzogranite do Camará (02)	429038E/9601659S	Point/RC	Igneous Petrology	Araújo et al. 2014
Hornblende-Biotite Metatexite of Tejuçuoca (03)	441431E/9577900S	Point	Metamorphism	Araújo et al. 2014
Lagoa Caiçara Migmatite (23)	408594E/9528775S	Point	Metamorphism	NA Castro (DT)
<b>Mineralization</b>				
Collophanites of Itaitaia (74)	--	Area	Mineral	Veríssimo et al. 2016
Skarns of Paraíso (27)	--	Point	Mineral	Parente et al. 2015
Banded Iron Formation of Boa Viagem (56)	411091E/9419581S	Area	Mineral	Veríssimo et al. 2009
Chromitites of Tróia (75)	402131E/9386844S	Point	Mineral	F.G Costa (MA)
Gondite of Madalena (59)	436899E/9464335S	Point/RC	Mineral	Almeida et al. 2007, Oral Communication
<b>Granitic Rocks</b>				
Biotite Sienogranite of Quintas Ring Complex (65)	400648E/9550596S	Point	Geochronological	Castro et al. 2012
Serra do Barriga Granite (19)	373291E/9587296S	Area	Igneous Petrology	IC Mattos (DT)
Serra do Pajé (10)	372190E/9560780S	View Point	Igneous Petrology	IP Gomes (MT), SS Tavares Jr. (MT)



TABLE II (continuation)

Geosites	Coordinates (SIRGAS 2000)	Typological Category	Main Geological Interest	Main References
Quixeramobim Granite (37)	469420E/9423719S	Point	Igneous Petrology	Almeida et al. 1999, JF Nogueira (DT), Oral Communication
Quixadá Granite (38)	501489E/9451768S	Point	Igneous Petrology	Almeida et al. 1999, JF Nogueira (DT), Oral Communication
<b>Shear Zones</b>				
Evidences of Thrusting of Pedra Branca (31)	405497E/9399842S	Section/RC	Tectonics	Caby and Arthaud 1986, GMS Hamelak (MT)
Gneiss Mylonitic Gneiss of Quixadá (39)	513960E/9452548S	Area	Tectonics	Oral Communication
Mylonites of Mombaça (51)	433258E/9357114S	Point	Tectonics	Oral Communication
Itatira <i>Nappe</i> (62)	414960E/9492747S	View Point	Tectonics	Caby and Arthaud 1986
Enderbites of Transbrasiliano Lineament (05b)	333976E/9573265S	Point	Tectonics	Amaral et al. 2012, JA Nogueira Neto (DT)
Cataclasite of the Rio Groairas Fault (22)	374772E/9545892S	Point/RC	Tectonics	Oral Communication
Tectonite of Independência (29)	347021E/9407463S	Point	Tectonics	Neves 1991
Mylonitic Orthogneiss of Umirim (42)	460416E/9593100S	Point	Tectonics	SA Zincone (MT)
Phyllites of Transbrasiliano Lineament (06)	349908E/9595143S	Section	Tectonics	Oral Communication
<b>Geomorphological Units</b>				
Serra Branca Peak (72)	374506E/9473058S	Area	Geomorphological	Cultural landmark
Inselberg Fields of Quixadá (46)	492193E/9448880S	Complex Area	Geomorphological	Maia et al. 2015
Inselberg of Pedra do Cruzeiro (45)	498462E/9451025S	Area	Geomorphological	Maia et al. 2015
Inselbergs of Irauçuba (04)	411799E/9586284S	View Point	Geomorphological	Sales and Peulvast 2007
Pedra do Frade (44)	458817E/9590067S	Area	Geomorphological	Cultural landmark

Unpublished data: DT- Doctorate Thesis; MA- Meeting Abstracts; MT- Master's Thesis.



**Figure 2** - Selected geosites of the geological framework “Shear Zones”: **a)** *Geosite Evidences of Thrusting of Pedra Branca*: The best exposure of a low angle tectonics on Archean/Paleoproterozoic basement. Represent characteristic rock association of Pedra Branca Unit with interlayer between orthogneisses, often affected by boudinage amphibolites and mafic schist. The orthogneisses shows NNE-SSW low angle foliation, SSE mineral lineation and top-to NNW movement. **b)** *Geosite Mylonitic Gneiss of Quixadá*: This excellent outcrop is located within a quarry and constitutes records of dextral strike slip ductile Senador Pompeu shear zone. The geosite is composed of homogeneous mylonitic grey orthogneiss with strongly deformed mafic xenoliths and high-angle mylonitic foliation. **Selected geosites of the geological framework “Mineralization”**: **c)** *Geosite Collophanites of Itaitaia*: The geosite occur as a collophanite stockwork filling fractures, faults and carbonate breccias in marbles and calc-silicate rocks. The genesis of ore is marked by various mineralizing stage, which ultimately form the larger phosphate-uranium deposit known in South America. (Source: Veríssimo et al. 2016) (Images: César Veríssimo). **d)** *Geosite Skarns of Paraiso*: This outcrop constitutes a good exposure of Fe-Cu skarns associated to calc-silicate rocks and Neoproterozoic granites. It represents the first occurrence of metallic mineralization identified as product of the SQMA (Source: Parente et al. 2015) (Images: Clóvis V. Parente). **Selected geosites of the geological framework “Granitic Rocks”**: **e)** *Geosite Serra do Barriga Granite*: This Cambrian, 522-Ma poly-intrusive granitic stock, represents the post-orogenic magmatism at the end of Brasiliano-Pan African Cycle. The stock is formed by rocks ranging in composition from sienogranite to monzogranite. **f)** *Geosite Quixeramobim Granite*: This Neoproterozoic, 587-Ma intrusive batholith represents the ending of Brasiliano-Pan-African Cycle being its intrusive processes associated to Senador Pompeu and Quixeramobim shear zones. The batholith is formed by rocks ranging in composition from calc-alkaline granodiorites, diorites, granites and quartz-diorite (Source: Almeida et al. 1999). The area chosen as geosite is a porphyritic grey granite with 15 cm K-feldspar phenocrysts. Kinematic indicators suggested dextral movement according to regional shear zone can be easily founded. **Selected geosites of the geological framework “Geomorphological Units”**: **g)** *Geosite Inselbergs Field of Quixadá*: This geosite represents the most relevant inselbergs field of CCD and one the most known of Brazil. It constitutes a singular landform assemblage resulting from interaction between climate and crystalline rocks. The *Galinha Choca* is the most famous inselberg, being composed of rich- plagioclase porphyritic granite with mafic enclaves, leucocratic granite portions and quartz-feldspar veins. The inselberg field is characterised by taffonis and marginal collapse of joint blocks. **h)** *Geosite Serra Branca Peak*: This 1154-metres peak constitutes CCD’s highest point, predominantly composed of K-feldspar granite with small quartz veins associated to SQMA. The geosite represents a residual massif, named Serra das Matas, where highlands with average elevations between 500 and 600 meters can be observed.

igneous petrology, metamorphism, mineral, karst and tectonics (Figure 4a). Metamorphism is the most recurrent interest, clearly due to the geological features of CCD. Geodynamics is the second most recurrent one and includes geosites showing registers of high-pressure and high-temperature zones, mainly regarding oceanic subduction processes. Furthermore, this information may guide future work concerning the use of these geosites, like thematic guides aiming either educational or geotourism purpose.

Regarding the size category, point-type sites were predominant, followed by area, section, viewpoint and complex area (Figure 4b). According to Fuertes-Gutiérrez and Fernández-Martínez (2010), this classification is used to indicate the most vulnerable geosites, being the point- and section-types the most vulnerable, essentially due to their small size. In this inventory, 30.6% of points

or sections geosites were located in road cuttings, a fact that increases their vulnerability.

## DISCUSSION

The first initiatives for geosites conservation in Brazil, such as SIGEP, GEOSSIT Platform, and Geoparks Project stimulated the development of several types of research in Geoconservation. Starting with AD HOC-based methods, these works evolved to the application of well-established, internationally recognised methods, like the Inventory of Geological Heritage of the State of São Paulo (Garcia et al. 2017) and the inventory here presented, among others. The geosites defined in these works are candidates to compound the basis for a future systematic inventory of the Brazilian Geoheritage. Moreover, the experience with these inventories indicates the use of tectonic domains’ approach, as pioneered by Mansur (2010a), has

brought promising results and could be also used as a basis for this national inventory.

In this sense, the geological frameworks presented here represent the most relevant aspects of CCD's geodiversity and can be used for future inventories in the south-west portion of CCD and could serve as a guide in other domains of the Borborema Province with similar geological evolution, as the Médio Coreau Domain. These frameworks may represent a specific geological event, as Santa Quitéria Magmatic Arc; similar geological features produced by distinct events, such as Mineralisation and Geomorphological Units; or geological features belonging to a specific period in geological time, as Archean and Paleoproterozoic Terranes.

In terms of geological time scale, this inventory comprises geosites representing lithologies from the Neoproterozoic (2.88 Ga – Tonalitic Gneiss of Estrema Geosite) to the last Ordovician magmatic pulses (470 Ma – Biotite Sienogranite of Quintas Ring Complex Geosite), later suffering a continuous exhumation and weathering that sculpts the relief until the present. Some geosites represent a geological milestone in the CCD history, like the Garnet-Clinopyroxenite Amphibolite of Juazeiro Farm geosite, mentioned by Santos et al. (2015) as evidence for a continental lithosphere subduction event occurred during the Western Gondwana collage.

Most of the geosites were intensively studied and therefore there are scientific publications about them, resulting in decades of accumulated scientific knowledge and investments of both public and private resources (Figure 5). In this perspective, the inventory can be taken as an extensive survey that gathers information about the most significant research, all assembled in a single database. Therefore, this can facilitate the access to these data by geoscientists either for scientific purposes or communication with the general public, public managers, and funding agencies.

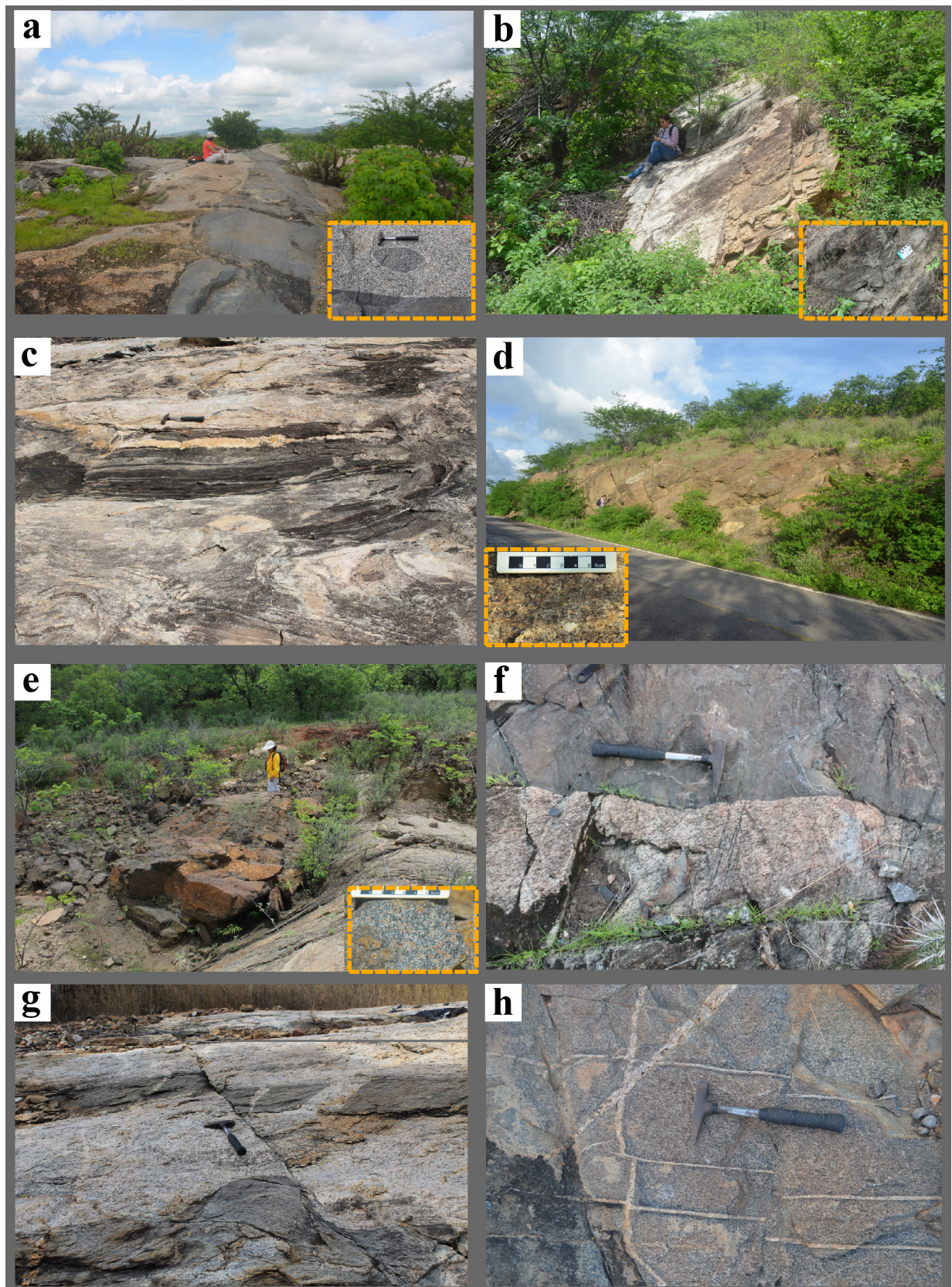
Other geosites correspond to outcrops frequently visited during university field classes or that were subject to academic research and technical reports, contributing to the development of geosciences and training of new professionals (Figure 5). In a study carried out in Europe, Van Loon (2008) brought attention to the threat for the capability of the future professionals in geosciences to manage all kinds of natural resources due to the decrease of field training.

#### GEOSITES ASSESSMENT IN ACCORDANCE WITH LEGAL PROTECTION AND AWARENESS

Only 27% of the inventoried geosites are located in areas with some kind of legal protection (Table III). For instance, only the Inselberg Fields of Quixadá Geosite is located in protected area according to SNUC, designated as Monólitos de Quixadá Natural Monument. Some geosites are protected by National Historic and Artistic Heritage laws due to the occurrence of archaeological features, mainly carving and rock paintings. Geosites classified as Permanent Protection Areas are located surrounding drainages, dams or hilltops.

Most of the geosites (73%) are located in places without any legal protection. In this group, geosites located in road cuts constitute the most urgent vulnerable situation. Their vulnerability increases due to the absence of legal protection, especially in cases where enlargement and maintenance of roads, intervention on landslides and illegal graffiti may affect them directly and permanently. For example, the Tonalitic Gneiss of Mombaça is one of the older lithotypes of CCD and in 2016 the main outcrop was partially destroyed due to the enlargement of the CE-060 Highway. An alternative to protect these geosites could be the establishment of partnerships with the administrations responsible for the management of roads or with municipal decrees regulating land use.

Pure application of legal framework without effective actions to monitor compliance with the



**Figure 3** - Selected geosites of the geological framework “Archean and Paleoproterozoic Terranes”. **a) Geosite Madalena Suite:** This outcrop constitutes the best exposure of Paleoproterozoic quartz-dioritic batholith (Madalena Suite) dated about 2.15 and 2.30 Ga and represents a relevant plutonic event affecting Paleoproterozoic rocks assemblage (Source: Costa et al. 2015). The geosite is composed of equigranular hornblende-rich orthogneiss cut by a fine-grained diorite dyke. Mafic enclaves and locally gneissic banding can be observed. **b) Geosite Greenstone Sequence of Pedra Branca:** This good outcrop represents the greenstone sequence from Troia Massif, one of the most ancient lithotypes of CCD dated about 2.78 Ga. It is composed of metarhyolites interlayered with actinolite-rich mafic schists. **Selected geosites of the geological framework “Supracrustal Sequences”:** **c) Geosite Metasedimentary Megaxenoliths of Juatama:** the best exposure of the relationship between intrusive processes of Neoproterozoic batholiths with the hosting metasedimentary rocks. The geosite is composed of partially-migmatised grey gneiss with metasedimentary xenoliths. These xenoliths were often affected by boudinage, although the primary foliation had been preserved. **d) Geosite Kyanite-Sillimanite gneiss of Itatira:** This road outcrop is a good exposure that records remarkable retrograded processes related to isothermal decompression during Itatira Nappe evolution, around 630-600 Ma. The site is composed of fine-banded gneiss, with top-to E-NE movement (Source: Garcia et al. 2014). **Selected geosites of the geological framework “Granulites and Retroeclogites”:** **e) Geosite Garnet-Amphibolite of Lagoa do Mato:** The best exposure of eclogite-facies relics in the CCD represents Neoproterozoic high-pressure metamorphism at the eastern border of SQMA. It is composed of garnet-amphibolite boudins (retrograded eclogites) hosted within aluminous paragneisses. Plagioclase coronas around garnet can be observed in sample hand. **f) Geosite Enderbites of Alto Feliz:** This outcrop represents a good exposure of granulite-facies rock in the CCD. It represents records of Neoproterozoic high-grade metamorphism between the western border of SQMA and Brasileiro Lineament and is composed of enderbite crosscut by clinopyroxene-garnet amphibolite dyke. **Selected geosites of the geological framework “Santa Quitéria Magmatic Arc”:** **g) Geosite Biotite Diatexite of Santa Quitéria:** This geosite is composed of biotite-diatexite related to final phase of SQMA magmatism about 618 Ma, and granodiorite boudins with ca. 890 Ma ages, that suggest an older input for SQMA magmatism (Source: Araújo et al. 2014). **h) Geosite Quartz-Diorite of Taparuaba:** This outcrop constitutes a good exposure of rocks related to SQMA mature arc magmatism at about 648 Ma, characterised by hybrid magmatism with influence of neoproterozoic crustal components (Source: Araújo et al. 2014). This site is composed of partially mylonitic quartz-diorite with mafic enclaves cut by felsic veins and fractures.

law, without scientific and popular engagement, does not guarantee adequate conservation for the geosites. As an example, some legally protected geosites present moderate or advanced degradation stages, such as illegal graffiti and garbage, like the Casa de Pedra Cave and Inselberg of Pedra do Cruzeiro geosites. Especially in Brazil, the protection of geoheritage also depends on the recognition of geoconservation as a new area within the Earth Sciences by the geoscience community, as appointed by Lima et al. (2016).

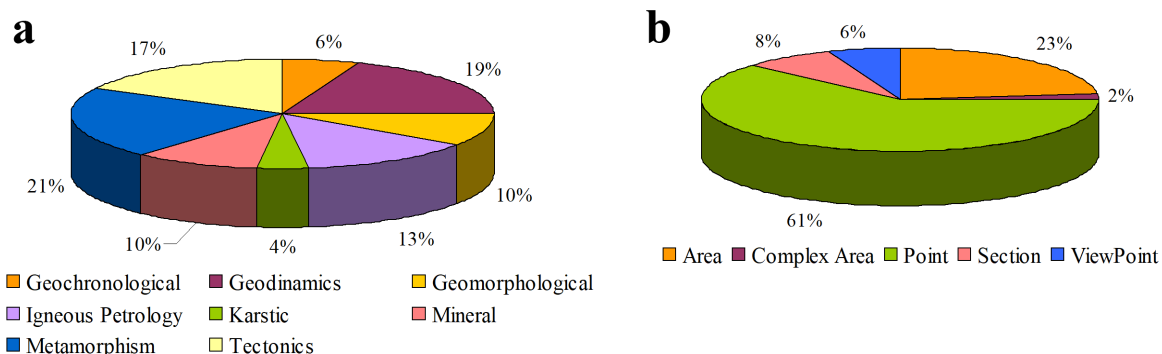
Geoscientists need to take over their social role in spreading their knowledge, so that society could recognise geoheritage as scientific memory, cultural identity and as a basis for sustainable development, making a link to the appropriate legislation for the conservation of geosites (Figure 6). For instance, Spain and Portugal were successful in influencing the legislative system in their countries, including special laws to the protection of geodiversity, thanks to the recognition of geoheritage by society,

governments, and academic community (Brilha et al. 2013, Carcavilla et al. 2009). In this regard, the interdisciplinary behaviour of geoconservation may fill the gap between geological research and society. Then, inventories emerge as a fundamental and priority action in this process.

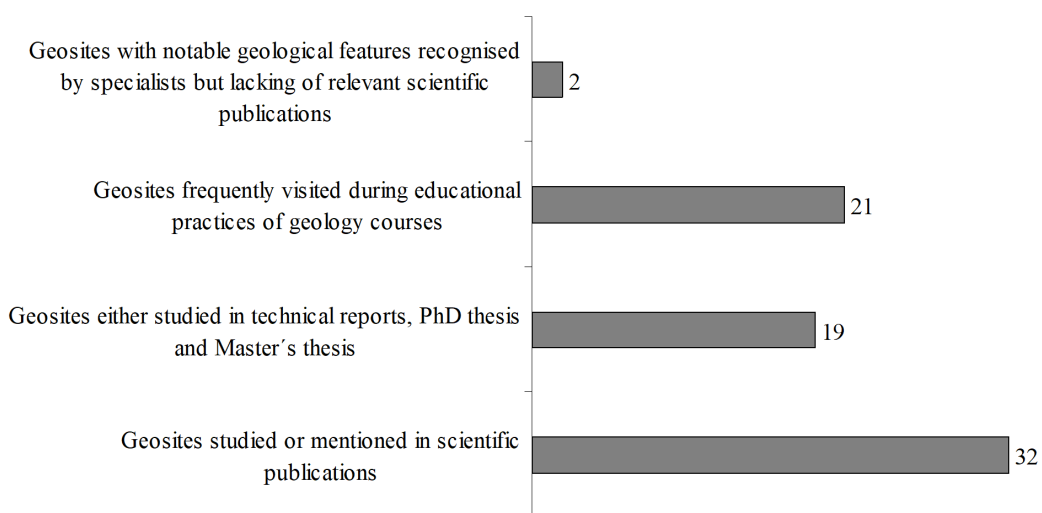
## CONCLUSIONS

In large countries like Brazil, the development of geoheritage inventories using the tectonic domains' approach may be quite adequate. Based on this principle, the inventory of geoheritage of the northern-central part of CCD has resulted in eight geological frameworks and 52 geosites, most of them with a scientific research history and use in university field classes.

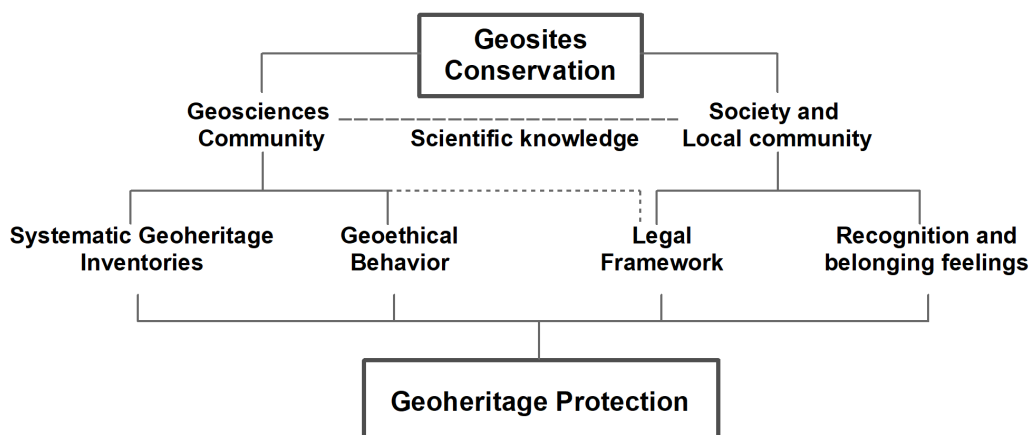
The development of this work attends the geological framework methodology; potentially allowing comparison with others inventories in Brazil by using the same method, as well as comparative assessments at an international



**Figure 4 - a)** Distribution of geosites according to main geological interest. **b)** Distribution of geosites according to typological categories of Fuertes-Gutiérrez and Fernández-Martínez (2010).



**Figure 5 -** Frequency of geosites mentioned in each category. The same geosite can be cited in more than one category.



**Figure 6 -** Conceptual flowchart showing how geosites conservation can be used as a tool to protect geosites. Dashed lines indicate indirect influence

**TABLE III**  
**Geosites protected according to Brazilian legal framework.**

Legal Framework	Geosite	Modality
Brazilian Law for National Historic and Artistic Heritage Protection (Federal Decree-Law n 25/1937)	Casa de Pedra Cave Pajé Range	Archaeological, Ethnographic and Landscape Heritage Register
Brazilian System for Conservation Units - SNUC (Federal Law n 9.985/2000)	Inselberg Fields of Quixadá	Natural Monument (Ceará Decree n 26.805/2002)
Brazilian Law for Natural Underground Cavities Protection (Decree-Law n 99.556/1990 and 6.640/2008)	Furna dos Ossos Casa de Pedra Cave	Speleological Heritage
	Madalena Suite	
	Micaschist of Choró-Limão Dam	
	Metasedimentary Megaxenoliths of Juatama	
	Garnet Schist of Quixeramobim	
Brazilian Forest Code (Federal Law n 12.651/2012)	Serra do Barriga Granite Itatira <i>Nappe</i>	Permanent Protection Areas
	Enderbites of Transbrasiliiano Lineament	
	Serra Branca Peak	
	Serra do Pajé	
	Pedra do Frade	
Tejuçuoca Municipal Law s/n	Furna dos Ossos	Ecological Park
Quixadá Municipal Law n 1903/2003	Inselberg of Pedra do Cruzeiro	Environmental Protected Zone

level. The use of such methodology opens perspectives for new geoheritage inventories in the Borborema Province, and may also contribute to the development of a future Brazilian national systematic inventory, as it was already initiated by the State of São Paulo.

One of the main problems for geoconservation is the absence of specific laws to ensure the protection of geoheritage. The relationship between legal frameworks and vulnerability is a primary indication of which geosites need urgent protection. In this sense, the point and section-types geosites located in road cuts and without legal protection are the most vulnerable. When not accompanied by scientific and social awareness about the relevance of geoheritage, legal protection

itself does not ensure geosites conservation. The engagement of the academic community and of the society is undoubtedly necessary to guide the adequate geosites management and thus promote geoheritage protection.

An inventory of geoheritage is not a final task and must constitute a guide to conduct further geoconservation actions. Besides the geoscientific value, this work would serve as a base for the assessment of both tourism and educational potential uses of these geosites. From the combination of these results with socioeconomic and environmental indicators, a pilot area would be chosen to develop a project aiming the sustainable development at this semiarid part of Northeastern Brazil.



The development of new geological research will allow the reviewing of the presented geological frameworks, and exclusion or inclusion of new geosites, emphasising the dynamic character of this inventory.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We specially thank all experts that helped us with this inventory: Afonso Almeida, Carlos E.G. de Araújo, César Veríssimo, Christiano Magini, Clóvis Vaz Parente, Felipe G. Costa, Irani C. Mattos, Neivaldo de Castro, Otaciel de Melo, Sebastián G. Chiozza, Ticiano Santos and Stefano Zincone. We are also thankful to Kátia Mansur, Ricardo Fraga Pereira and anonymous reviewers for their valuable contributions. PM is grateful to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for PhD mobility scholarship PDSE Program/Process n 88881.132168/2016-01.

#### REFERENCES

- ALMEIDA AR, PARENTE CV AND ARTHAUD MH. 2007. Nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem: Itatira-SB.24-V-B-V: 1:100.000. Fortaleza: CPRM, 196 p.
- ALMEIDA AR, ULBRICH HGJ AND MCREATH I. 1999. O Batólito Quixadá: petrologia e geoquímica. *Rev Geol* 12: 29-52.
- AMARAL WS AND SANTOS TJS. 2008. Airbone Geophysical and Tectonics of the Ceará Central Domain, Eastern Region of the Santa Quitéria Magmatic Arc, Borborema Province, NE Brazil. *Braz J Geophys* 26(4): 527-542.
- AMARAL WS, SANTOS TJS, ANCELMÍ MF, FUCK RA, DANTAS EL, MATTEINI M AND MORETO CP. 2015. 1.57 Ga protolith age of the Neoproterozoic Forquilha eclogites, Borborema Province, NE-Brazil, constrained by U–Pb, Hf and Nd isotopes. *J South Am Earth Sci* 58: 210-222.
- AMARAL WS, SANTOS TJS AND WERNICK E. 2011. Occurrence and geochemistry of metamafic rocks from the Forquilha Eclogite Zone, central Ceará (NE Brazil): geodynamic implications. *Geol J* 46: 137-155.
- AMARAL WS, SANTOS TJS, WERNICK E, NOGUEIRA NETO JA, DANTAS EL AND MATTEINI M. 2012. High-pressure granulites from Cariré, Borborema Province, NE Brazil: Tectonic setting, metamorphic conditions and U–Pb, Lu–Hf and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Res* 22: 892-909.
- ANCELMÍ MF, SANTOS TJS, AMARAL WS, FUCK RA, DANTAS EL AND ZINCONÉ SA. 2015. Provenance of metasedimentary rocks from the Ceará Central Domain of Borborema Province, NE Brazil: implications for the significance of associated retrograded eclogites. *J South Am Earth Sci* 58: 82-99.
- ANCELMÍ MF, SANTOS TJS, REGINATO RA, AMARAL WS AND MONTEIRO LVS. 2013. Geologia da Faixa Eclogítica de Forquilha, Domínio Ceará Central, noroeste da Província Borborema. *Braz J Geol* 43(2): 235-252.
- ARAÚJO CEG, CORDANI UG, WEINBERG RF, BASEI M AS, ARMSTRONG R AND SATO K. 2014. Tracing neoproterozoic subduction in the Borborema Province (NE-Brazil): Clues from U–Pb geochronology and Sr–Nd–Hf–O isotopes on granitoids and migmatites. *Lithos* 202-203: 167-189.
- ARAÚJO CEG, COSTA FG, PINÉO TRG, CAVALCANTE JC AND MOURA CAV. 2012. Geochemistry and 207Pb/206Pb zircon ages of granitoids from the southern portion of the Tamboril–Santa Quitéria granitic–migmatitic complex, Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil). *J South Am Earth Sci* 33(1): 21-33.
- ARTHAUD MH, CABY R, FUCK RA, DANTAS EL AND PARENTE CV. 2008. Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. 2008. *Geol Soc Spec Publ* 294(1): 49-67.
- ARTHAUD MH ET AL. 1993. Evolução termo - dinâmica da Sequência Metassedimentar de Quixeramobim (CE): Suas consequências quanto ao funcionamento das transcorrências dúcteis do Ceará Central. *Rev Geol* 6(1): 47-56.
- BORBA AW, SOUZA LF, MIZUSAKI AMP, ALMEIDA DPM AND STUMPF PP. 2013. Inventário e avaliação quantitativa de geossítios: exemplo de aplicação ao patrimônio geológico do município de Caçapava do Sul (RS, Brasil). *Pesq Geoc* 40(3): 275-294.
- BRAZIL. 1937. Decreto-Lei 25, de 30 de novembro de 1937. Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del0025.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0025.htm)>. Acesso em: 09 de maio de 2016.
- BRAZIL. 1990. Decreto-Lei 99556, de 1 de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1990-1994/d99556.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/d99556.htm)>. Acesso em: 10 de junho de 2016.
- BRAZIL. 2000. Lei Federal 9985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em:

- <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm)>. Acesso em: 09 de maio de 2016.
- BRAZIL. 2008. Decreto-Lei 6640, de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4 e 5 e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto n 99.556, de 1 de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6640.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6640.htm)>. Acesso em: 10 de junho de 2016.
- BRAZIL. 2012. Lei Federal 12651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 09 de maio de 2016.
- BRILHA J. 2016. Inventory and Quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage* 8(2): 119-134.
- BRILHA J ET AL. 2005. Definition of the Portuguese Frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterization. *Episodes* 28(3): 177-186.
- BRILHA J ET AL. 2013. Geossítios de Relevância Nacional e Internacional em Portugal Continental. In: Magalhães MR (Ed), *Estrutura Ecológica Nacional: Uma proposta delimitação e regulamentação*. Lisboa: ISAPress, 2013. Cap. 9, p. 169-175.
- BRITO NEVES BB, CAMPOS NETO M AND FUCK RA. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes* 22(3): 155-166.
- BUTLER R. 2015. Destructive sampling ethics. *Commentary. Nat Geosci* 8(1): 817-818.
- CABY R AND ARTHAUD MH. 1986. Major Precambrian *nappes* of the Brazilian belt, Ceara, northeast Brazil. *Geol* 14: 871-874.
- CARCAVILLA LU. 2012. *Geoconservación*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 126p.
- CARCAVILLA LU, DURÁN JJ, GARCÍA-CORTÉS A AND LÓPEZ-MARTINÉZ J. 2009. Geological heritage and geoconservation in Spain: past, present, and future. *Geoheritage* 1: 75-91.
- CASTRO NA, ARAÚJO CEG, BASEI MAS, OSAKO LS, NUTMAN AA AND LIU D. 2012. Ordovician A-type granitoid magmatism on the Ceará Central Domain, Borborema Province, NE-Brazil. *J South Am Earth Sci* 36:18-31.
- CAVALCANTE JC, VASCONCELOS AM, MEDEIROS MF, PAIVA IP, GOMES FEM, CAVALCANTE SN, CAVALCANTE JE, MELO ACR, DUARTE NETO VC AND BENEVIDES HC. 2003. Mapa geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000. Fortaleza, Secretaria das Minas e Energia, CPRM.
- CEARÁ. 2002. Decreto 26805, de 25 de outubro de 2002. Decreta a Unidade de Conservação de Proteção Integral do tipo Monumento Natural os campos de inselbergs situados no Município de Quixadá. Disponível em: <[http://antigo.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=170](http://antigo.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=170)>. Acesso em: 10 de junho de 2016.
- COSTA FG, PALHETA ESM, RODRIGUES JB, GOMES IP AND VASCONCELOS AM. 2015. Geochemistry and U–Pb zircon ages of plutonic rocks from the Algodões granite-greenstone terrane, Tróia Massif, northern Borborema Province, Brazil: Implications for Paleoproterozoic subduction-accretion processes. *J South Am Earth Sci* 59: 45-68.
- DRUGET E, PASSHIER CW, PENNACHIONI G AND CARRERAS J. 2013. Geoethical education: A critical issue for geoconservation. *Episodes* 36(1): 11-18.
- FETTER AH, SANTOS TJS, VAN SCHMUS WR, HACKSPACHER PC, BRITO NEVES BB, ARTHAUD MH, NOGUEIRA NETO JA AND WERNICK E. 2003. Evidence for neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceara State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Res* 6(2): 265-273.
- FETTER AH, VAN SCHMUS WR, SANTOS TJS, NOGUEIRA NETO JA AND ARTHAUD MH. 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, Ne Brazil: Implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent “Atlantica”. *Braz J Geol* 30: 102-106.
- FUERTES-GUTIÉRREZ I AND FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ E. 2010. Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): A tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage* 2(1-2): 57-75.
- GARCIA MGM AND ARTHAUD MH. 2004. Caracterização de trajetórias P-T em *nappes* brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena - Ceará Central. *Rev Geol* 17(2): 173-191.
- GARCIA MGM, BRILHA J AND LIMA FF ET AL. 2017. The Inventory of Geological Heritage of the State of São Paulo, Brazil: Methodological Basis, Results and Perspectives. *Geoheritage* 1: 1-20.
- GARCIA MGM, SANTOS TJS AND AMARAL WS. 2014. Provenance and tectonic setting of neoproterozoic supracrustal rocks from the Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): constraints from geochemistry and detrital zircon ages. *Int Geol Rev* 56(4): 481-500.
- HENRIQUES MH, REIS RP, BRILHA J AND MOTA T. 2011. Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage* 3(2): 17-128.

- IAPG. 2012. What is Geoethics? International Association for Promoting Geoethics (IAPG). Available: <http://www.geoethics.org/geoethics>. Last accessed January 2017.
- IRWIN WP. 1972. Terranes of the western Paleozoic and Triassic belt in the southern Klamath Mountains, California. *Geol Surv Res Chap C 1*: 103-111.
- KEAREY F AND VINE FJ. 1998. *Global Tectonics*. Oxford, Blackwell Science, 2<sup>nd</sup> ed., 333 p.
- LIMA FF, BRILHA J AND SALAMUNIE. 2010. Inventorying geological heritage in large territories: A methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage 2*(3-4): 91-99.
- LIMA FF, SCHOBENHAUS C AND NASCIMENTO MAL. 2016. Patrimonio geológico y su conservación en América Latina: Situación y perspectivas nacionales: Brasil. In: Prieto J and Palácio L (Eds), *Geografía para el siglo XXI: Libros de investigación*, 18, México, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 55-79.
- LIMA LC, MORAIS JO AND SOUZA MJN. 2000. *Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará*. Fortaleza, FUNECE, 268 p.
- MAIA RP, BEZERRA FHR AND SALES VC. 2010. Geomorfologia do Nordeste: Concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento nordestinas. *Rev Geogr 1*(1): 6-19.
- MAIA RP, NASCIMENTO MAL, BEZERRA FHR, CASTRO HS, MEIRELES AJA AND ROTHIS LM. 2015. Geomorfologia do campo de Inselbergues de Quixadá, nordeste do Brasil. *Ver Bras Geomorfo 16*(2): 239-253.
- MANSUR KL. 2010a. Diretrizes para a Geoconservação do Patrimônio Geológico do Estado do Rio de Janeiro: o caso do Domínio Tectônico Cabo Frio. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, 214 p.
- MANSUR KL. 2010b. Ordenamento territorial e geoconservação: análise das normas legais aplicáveis no Brasil e um caso de estudo no estado do Rio de Janeiro. *Geociências 29*(2): 237-249.
- MANSUR KL, PONCIANO LCMO AND CASTRO ARSF. 2017. Contributions to a Brazilian Code of Conduct for Fieldwork in Geology: an approach based on Geoconservation and Geoethics. *An Acad Bras Cienc 89*: 431-444.
- MARTINS G AND OLIVEIRA EP. 2004. Arcabouço Lito-Estrutural da Suíte Metamórfica Algodões-Choró, Domínio Ceará Central da Província Borborema. *Rev Geol 17*(1): 38-51.
- NEVES SP. 1991. A Zona de Cisalhamento de Tauá, Ceará: Sentido, estimativa do deslocamento, evolução estrutural e granitogênese associada. *Braz J Geol 21*(2): 161-173.
- PARENTE CV, VERÍSSIMO CUV, BOTELHO NF AND SANTOSTJS. 2015. Depósitos de escarnitos mineralizados em ferro e cobre do Arco Magmático de Santa Quitéria, Ceará, Província Borborema do nordeste do Brasil. *Braz J Geol 45*(3): 359-382.
- PEULVAST JP AND SALES VC. 2002. Aplainamento e Geodinâmica: Revisitando um problema clássico em geomorfologia. *Mercator 1*(1): 113-150.
- ROCHA AJD, LIMA E AND SCHOBENHAUS C. 2016. Aplicativo GEOSSIT – nova versão. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48, 2016, Porto Alegre. *Anais da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, p. 6389.
- SALES VC AND PEULVAST JP. 2007. Evolução morfoestrutural do revelo da margem continental do estado do Ceará, nordeste do Brasil. *Caminhos Geogr 7*(20): 1-21.
- SANTOS TJS, AMARAL WS, ANCEMI MF, PITARELLO MZ, FUCK RA AND DANTAS EL. 2015. U–Pb age of the coesite-bearing eclogite from NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for western Gondwana assembly. *Gondwana Res 28*(3): 1183-1196.
- SANTOS TJS, GARCIA MGM, AMARAL WS, CABY R, WERNICK E, ARTHAUD MH, DANTAS EL AND SANTOSH M. 2009. Relics of eclogite facies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Res 15*(3-4): 454-470.
- SCHOBENHAUS C, ROCHA AJD, WINGE M AND LIMA E. 2015. Inventário de Sítios do Patrimônio Geológico do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico, 3, 2015, Lençóis. *Anais do Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico*, Lençóis, 468-471 p.
- THOMAS BA AND WARREN LM. 2008. Geological conservation in the nineteenth and early twentieth centuries. In: Burek CV and Prosser CD (Eds), *The History of Geoconservation*. *Geol Soc Spec Publ 300*: 17-30.
- VAN LOON AJ. 2008. Geological education of the future. *Earth-Sciences Rev 86*(1-4): 247-254.
- VERÍSSIMO CUV, SANTOS RV, PARENTE CV, OLIVEIRA CG, CAVALCANTI GAD AND NOGUEIRA NETO JA. 2016. The Itaitaia phosphate-uranium deposit (Ceará, Brazil): new petrographic, geochemistry and isotope studies. *J South Am Earth Sci 70*: 115-144.
- VERÍSSIMO CUV, MAGINI C AND PARENTE CV. 2009. Petrografia e litoquímica das Formações Ferríferas Bandadas de Quixeramobim-Boa Viagem, Ceará, Brasil. *Geociências 28*(1): 43-52.
- WIMBLEDON W. 1996. Geosites: a new conservation initiative. *Episodes 19*(3): 87-88.
- WIMBLEDON W, ANDERSEN S, CLEAL CJ AND COWIE JW. 1999. Geological World Heritage: GEOSITES - A global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation. *Mem Descrittive della Carta Geol D'Italia 54*: 45-60.

**APÊNDICE B - IDENTIFICAÇÃO DE SÍTIOS GEOLÓGICOS PARA GESTÃO  
PRIORITÁRIA: PROPOSTAS PARA A GEOCONSERVAÇÃO NO DOMÍNIO  
CEARÁ CENTRAL, NORDESTE DO BRASIL**



**Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária:  
Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil**

Evaluation of Geological Sites for Priority Management:  
Proposals for Geoconservation in the Ceará Central Domain, North-eastern Brazil

Pâmella Moura<sup>1</sup>; Maria da Glória Motta Garcia<sup>1,2</sup> & José Brilha<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia.  
Campus do Pici, Bloco 912, 60440-554, Fortaleza, CE

<sup>1,2</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Núcleo de Apoio à Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo. Rua do Lago, 562, Butantã, 05508-080, São Paulo, SP

<sup>3</sup> Universidade do Minho, Instituto de Ciências da Terra. Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal.  
E-mails: pamella\_mm@yahoo.com.br; mgmgarcia@usp.br; jbrilha@ict.uminho.pt

Recebido em: 09/05/2018 Aprovado em: 04/06/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_2\\_252\\_267](http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_252_267)

## Resumo

A avaliação quantitativa de valoração do patrimônio geológico tem se demonstrado uma relevante ferramenta para delinear estratégias de geoconservação, sobretudo em áreas extensas e com escassez de recursos. A área selecionada para este estudo corresponde a uma região socioeconomicamente vulnerável no semiárido do estado do Ceará, nordeste do Brasil, e contempla um conjunto de 52 sítios geológicos representativos da evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central. Com o intuito de delinear estratégias de geoconservação pertinentes a realidade local, este trabalho teve por objetivo identificar quais os geossítios prioritários no plano de gestão. Para tanto, foi utilizado o método de avaliação quantitativa integrado na plataforma GEOSSIT do Serviço Geológico do Brasil, tendo sido avaliado o valor científico, o risco de degradação, o potencial uso educativo e turístico e as prioridades de proteção. Os resultados indicaram que os geossítios inventariados possuem alto valor científico, que existe predominância de geossítios com risco moderado de degradação e predomínio de valores medianos para o potencial uso educativo e turístico. Três listas de sítios prioritários foram definidas, considerando apenas os locais com alto valor científico e potencial uso relevante. No final, foi possível identificar e justificar quatro territórios estratégicos para a geoconservação na porção centro-norte do Domínio Ceará Central.

**Palavras-chave:** Patrimônio geológico; geossítios; sítios de geodiversidade; Geossit

## Abstract

Quantitative assessment of geological sites has been demonstrated as a consistent tool in order to delineate geoconservation strategies, especially for large areas with scarce resources. The working area is located in a vulnerable region in north-eastern Brazil characterised by low socioeconomic conditions. This area comprises an assemblage of 52 geological sites (geosites and geodiversity sites) representing the geodynamic evolution of the Ceará Central Domain, one of the oldest tectonic terranes in Brazil. In this perspective, this work aimed to identify priority sites for geoconservation actions. All geological sites were evaluated by a quantitative assessment concerning the scientific value, the degradation risk, the educational and touristic potential uses and the protection priorities. The assessments were performed by the method available on the GEOSSIT platform developed by Brazilian Geological Survey. Results indicate geological sites with high scientific value, predominance of geosites with moderate degradation risk and medium values for educational and touristic potential uses. Three sorted lists were defined considering only geological sites with high scientific value (geosites) and relevant potential uses. At the end, four priority areas were delineated for a detailed geoconservation plan in the centre-north portion of Ceará Central Domain.

**Keywords:** Geoheritage; geosites; geodiversity Sites; Geossit

## 1 Introdução

O Domínio Ceará Central (DCC) é a unidade geotectônica mais expressiva da porção norte da Província Borborema e apresenta registros da evolução geodinâmica relacionada à amalgamação da porção oeste do Gondwana, durante o Neoproterozoico, além de registros de orogenias paleoproterozoicas e de rochas remanescentes de um núcleo arqueano (Brito Neves *et al.*, 1999; Fetter *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2009). O inventário do patrimônio geológico desenvolvido por Moura *et al.* (2017) contemplou geossítios e sítios de geodiversidade (Brilha 2016) representantes da história e evolução geodinâmica deste domínio. Contudo, devido ao elevado número de sítios geológicos e à extensão da área inventariada, o que inviabilizaria desenvolver ações de geoconservação efetivas em todos os sítios, surge a necessidade de definir sítios prioritários para a gestão deste patrimônio geológico.

A geoconservação representa um conjunto de técnicas e ações implementadas para garantir a conservação do patrimônio geológico, a fim de assegurar a preservação destes locais para as próximas gerações e aproveitar seu potencial de uso em benefício das comunidades locais (Carcavilla *et al.*, 2007; Henriques *et al.*, 2011). Neste âmbito, diversas metodologias vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de minimizar a subjetividade associada à avaliação e estabelecer os sítios prioritários para conservação, pelo que a avaliação quantitativa se destaca como metodologia comumente aplicada - Brilha (2016) apresenta uma revisão destes métodos.

A avaliação quantitativa considera como premissa que nem todo elemento geológico tem valor patrimonial e nem todos os elementos de valor notável possuem a mesma importância e o mesmo interesse, sendo possível definir os parâmetros para a valoração de cada ponto (Carcavilla *et al.*, 2007). Os métodos desenvolvidos para esta avaliação consideram, entre outros indicadores, as características intrínsecas do sítio, o conhecimento científico geológico, a localização e características do meio e as relações do sítio geológico com o entorno, como seu reconhecimento cultural, seu uso efetivo ou potencial e possíveis ameaças à sua integridade (naturais e antrópicas).

Entre os diversos métodos quantitativos de avaliação (tais como, Zouros, 2005; Reynard *et al.*, 2007; Garcia-Cortéz & Carcavilla, 2009; Pereira & Brilha, 2010; Fassoulas *et al.*, 2012), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desenvolveu uma plataforma *on-line* denominada GEOSSIT, com o objetivo de padronizar o inventário e avaliação quantitativa dos geossítios e sítios de geodiversidade no Brasil (Schobbenhaus *et al.*, 2015). O GEOSSIT foi inicialmente direcionado para atender a demanda de cadastro dos sítios geológicos do Projeto Geoparques e foi estruturado com base em Brilha (2005) e Garcia-Cortés & Carcavilla (2009), sendo recentemente atualizado com base em Brilha (2016), considerando adaptações para a realidade brasileira (Lima *et al.*, 2012; Rocha *et al.*, 2016). O método é de grande relevância para os estudos em geoconservação no Brasil e apresenta-se como o mais utilizado para a avaliação quantitativa dos geossítios (Romão & Garcia, 2017).

Em vista disto, este trabalho tem por objetivo definir os sítios geológicos prioritários para conservação no DCC, seja devido ao seu elevado valor científico e/ou atual risco de degradação, seja aqueles mais promissores do ponto de vista do seu uso para a educação e o geoturismo, com base no método aplicado na plataforma GEOSSIT.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Enquadramento Geológico e Geomorfológico

O DCC ocorre integralmente no estado do Ceará, nordeste do Brasil, estando limitado a leste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e a oeste pelo Lineamento Transbrasiliano. A área de estudo contempla a porção centro-norte do domínio (Figura 1). As rochas do DCC encontram-se intensamente deformadas e migmatizadas em função dos esforços tectônicos neoproterozoicos relacionados ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano (Brito Neves *et al.*, 1999).

A porção mais antiga do DCC é formada por um núcleo arqueano, composto por rochas com afinidade TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito), unidades metavulcanossedimentares e complexos máficos/ultramáficos, circundados por embasamento gnáissico-migmatítico juvenil paleoproterozoico,

Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária: Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil  
Pâmella Moura; Maria da Glória Motta Garcia & José Brilha

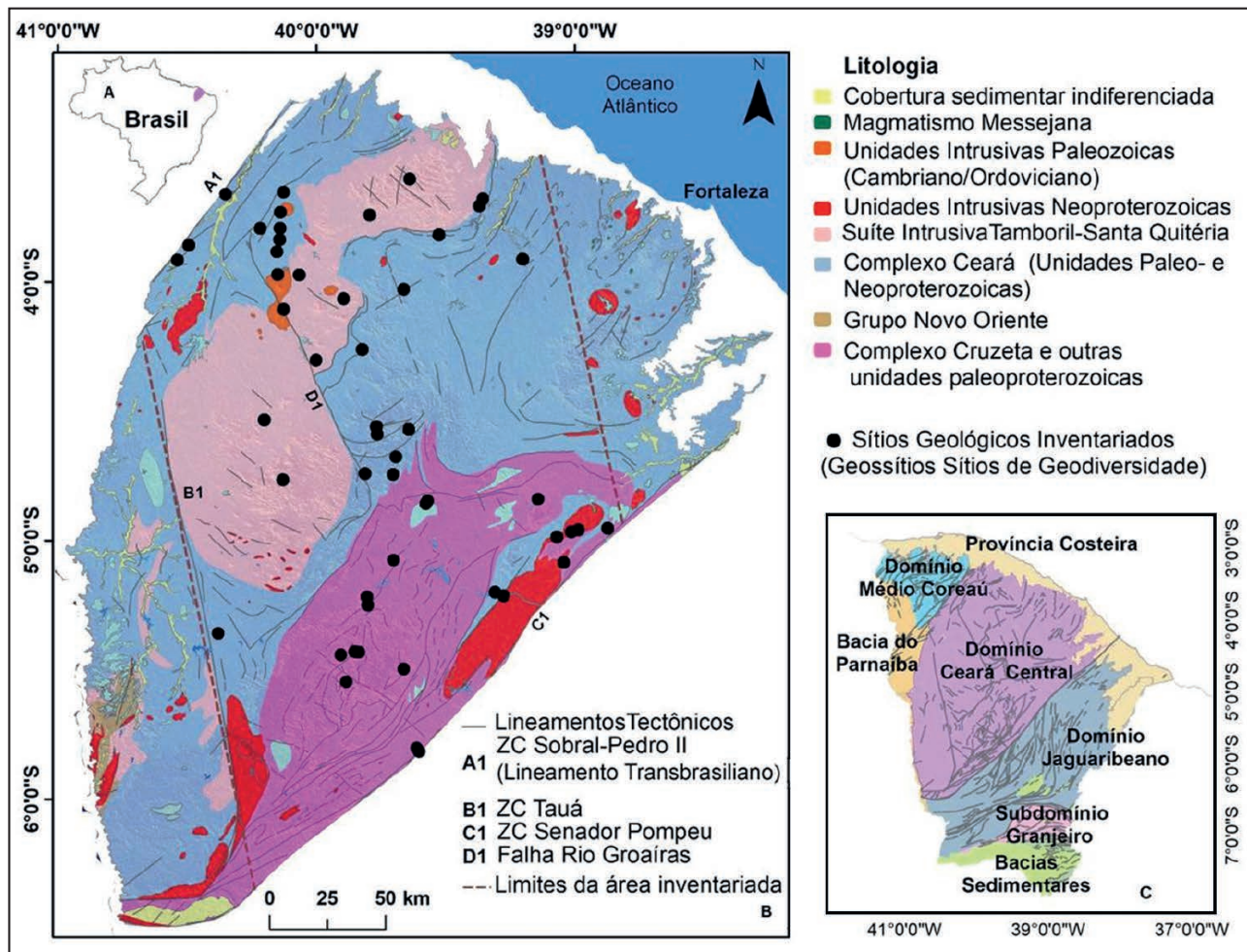


Figura 1 A. Localização geral da área de estudo B. Mapa geológico simplificado e localização dos sítios geológicos. C. Distribuição dos domínios tectônicos da Província Borborema no estado do Ceará. (Modificado de Cavalcante *et al.*, 2003 e Moura *et al.*, 2017).

ambos afetados por metamorfismo de médio e alto grau (Fetter *et al.* 2000). Com idades predominantemente neoproterozoicas, a porção mais recente é composta por sequência supracrustal vulcanossedimentar, afetadas por metamorfismo de alta pressão, expresso em rochas metamáficas - sobretudo granada-anfibolitos - e granulitos (Amaral *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2009). Também de idade neoproterozoica, um batólito granítico de alta anatexia e com assinatura isotópica de arco magmático (Santa Quitéria) ocorre em meio às sequências supracrustais (Fetter *et al.*, 2003). O DCC também apresenta diversos corpos granitoides pós-colisionais e anorogênicos, com idades entre o Neoproterozoico e o Ordoviciano (Castro *et al.*, 2012). Nestas rochas predominam composições sub-

calcialcalina, com intrusões enriquecidas em potássio (Almeida *et al.* 1999).

O relevo da região configura-se pela presença de maciços residuais individualizados por depressões aplainadas e inselbergues cristalinos (Lima *et al.*, 2000; Maia *et al.*, 2010). A geomorfologia da área é marcada pelo intenso controle estrutural herdado da instalação de zonas de cisalhamento transcorrentes no Neoproterozoico (Ciclo Brasileiro/Pan-Africano) e posterior reativação no Cretáceo (rifteamento e abertura do Oceano Atlântico), que favoreceram os processos de dissecação e influíram na orientação preferencial dos maciços residuais (Maia *et al.*, 2010; Sales & Peulvast, 2007). A região está sujeita a um clima tropical quente semiárido, com elevadas

temperaturas, índices pluviométricos inferiores a 800 mm/ano e extenso período de estiagem (Lima *et al.*, 2000), o que também condiciona os aspectos geomorfológicos locais.

## 2.2 Avaliação Quantitativa no GEOSSIT

Neste trabalho, os 52 sítios geológicos do inventário do patrimônio geológico do DCC foram sujeitos à avaliação disponibilizada pela plataforma GEOSSIT. A plataforma GEOSSIT foi selecionada para esta avaliação por utilizar a mesma metodologia adotada para a seleção dos sítios geológicos durante o inventário de patrimônio geológico do DCC, isto é, Brilha (2016).

O método usado nesta plataforma visa estabelecer ordenamentos entre os sítios geológicos, atribuindo valores numéricos para conjuntos específicos de características (Lima *et al.* 2012). Desta forma, pode-se avaliar o valor científico, risco de degradação e o potencial uso educativo e turístico, além de determinar as relevâncias e prioridades de proteção. No GEOSSIT, cada critério de avaliação apresenta um número específico de parâmetros com pesos percentuais distintos. Para cada critério, seleciona-se o parâmetro mais próximo à realidade do local em avaliação, sendo valorados em 1, 2 e 4. Para os casos onde nenhum dos parâmetros mostra-se adequado, considera-se a opção “*não se aplica*”, com pontuação zero.

A quantificação do valor científico no GEOSSIT integra sete critérios, cada um com um determinado peso relativo que reflete a importância para o cálculo final do valor científico: A1) Representatividade (30%); A2) Local-Tipo (20%); A3) Conhecimento Científico (5%); A4) Integridade (15%); A5) Diversidade geológica (5%), A6) Raridade (15%) e A7) Limitações de Uso (10%). Para o cálculo do risco de degradação, o método utiliza cinco critérios: B1) Deterioração dos conteúdos geológicos (35%); B2. Proximidade a zonas degradadoras (20%); B3) Proteção Legal (20%); B4) Acessibilidade (15%) e B5) Densidade Demográfica (10%). A partir dos resultados obtidos, o método classifica o risco em três níveis: baixo (inferior ou igual a 200), moderado (entre 201 e 300) e alto (entre 301 e 400). Para

a avaliação do potencial uso educativo e turístico, são usados 15 critérios (Tabela 1). Ao final, os sítios podem ser classificados em três categorias de relevância: internacional ( $VC \geq 300$ ); nacional ( $VC \geq 200$  e  $VC \leq 200$  com  $PUE$  ou  $PUT \geq 200$ ); e regional ( $VC < 200$  e  $PUE$  ou  $PUT \leq 200$ ).

O GEOSSIT permite definir a prioridade de proteção dos sítios geológicos em ordenamentos distintos em função do valor científico, risco de degradação e uso educativo e turístico, procedimento este adaptado de Garcia-Cortés & Carcavilla (2009). Para cada um dos casos, a Prioridade de Proteção resulta da soma do valor científico ou de uso com o risco de degradação e pode ser classificada em quatro intervalos: *i)* Longo Prazo ( $PPC \leq 300$ ); *ii)* Médio Prazo ( $300 < PPC \leq 550$ ); *iii)* Curto Prazo ( $550 < PPC \leq 750$ ); e *iv)* Urgente ( $PPC > 750$ ). A avaliação da prioridade global, com a soma de todos os valores dos sítios também pode ser realizada na plataforma, contudo, não foi aplicada neste trabalho.

Potencial de Uso Educativo e Turístico		
Critério	Peso Educativo	Peso Turístico
C1.Vulnerabilidade	10%	10%
C2. Acessibilidade	10%	10%
C3. Limitações de uso	5%	5%
C4. Segurança	10%	10%
C5. Logística	5%	5%
C6. Densidade demográfica	5%	5%
C7. Associação com outros valores	5%	5%
C8. Beleza cênica	5%	15%
C9. Singularidade	5%	10%
C10. Condições de observação	10%	5%
C11. Potencial didático	<b>20%</b>	-
C12. Diversidade geológica	<b>10%</b>	-
C13. Potencial para divulgação	-	<b>10%</b>
C14. Nível econômico	-	<b>5%</b>
C15. Proximidade a zonas recreativas	-	<b>5%</b>

Tabela 1 Critérios e pesos para a avaliação do potencial uso educativo e turístico. Fonte: Plataforma GEOSSIT (CPRM 2017)

## 3 Resultados

### 3.1 Avaliação Quantitativa do Valor Científico e Risco de Degradação

O valor científico (VC) obtido para os diversos sítios geológicos variou entre 135 e 365 (para um máximo de 400 pontos). Oito sítios apresenta-



ram VC inferior a 200 pontos, sendo assim considerados sítios de geodiversidade: Enderbitos do Lineamento Transbrasiliano, Filitos do Lineamento Transbrasiliano, Gnaiss Deformado de Forquilha, Granada-Anfibolito de Boa Viagem, Granito Quixadá, Granulitos Enderbíticos de Cariré, Milonitos de Mombaça e Pedra do Frade (Tabela 2).

Os critérios que receberam as maiores pontuações na avaliação do valor científico foram *Representatividade*, *Limitações de Uso*, *Integridade e Raridade*. O critério *Local-Tipo* recebeu as menores pontuações, embora seja o segundo critério de maior peso na avaliação (20%). Os sítios também obtiveram baixas pontuações na diversidade geológica (entre 1 e 2 pontos). A classificação de relevância aponta para o predomínio de geossítios de relevância nacional (75%), seguidos pelos de relevância internacional (17%) e regional (8%).

O risco de degradação obtido para os diversos sítios geológicos variou entre 65 e 370 (para um valor máximo de 400 pontos). De acordo com os intervalos de risco, 21% dos sítios geológicos foram classificados com alto risco de degradação; 60% com risco moderado; e 19% com baixo risco de degradação (Tabela 2).

### 3.2 Avaliação Quantitativa do Potencial Uso Educativo e Turístico

O potencial uso educativo obtido para os diversos sítios geológicos variou entre 165 a 335 pontos (para um valor máximo de 400 pontos) (Tabela 3). Os sítios que obtiveram valores igual ou superior a 300 pontos apresentaram elevado potencial didático, boas condições de observação e baixa vulnerabilidade (Pedra do Cruzeiro, Campo de Inselbergues de Quixadá, Inselbergues de Irauçuba, Pedra do Frade e Suíte Madalena, predominantemente inselbergues ou geoformas cristalinas). Os geossítios que obtiveram valores inferiores a 200 pontos se caracterizam por serem vulneráveis, de difícil acesso e com baixo potencial didático.

O potencial uso turístico obtido para os diversos sítios geológico variou entre 150 e 320 pontos (para um valor máximo de 400 pontos) (Tabela 3).

Os geossítios que apresentam características geomorfológicas que potencializam o uso turístico devido ao valor estético associado obtiveram a maior pontuação: Inselbergue Pedra do Cruzeiro, Campo de Inselbergues de Quixadá, Pedra do Frade, Pico Serra Branca e Inselbergues de Irauçuba, Gruta Casa de Pedra, Furna dos Ossos e Serra do Barriga. Os geossítios Cromitito Tróia, Escarnitos de Paraíso e Granada-clinopiroxênio Anfibolito Fazenda Juazeiro, Sequência de Alta Pressão Fazenda Cabeça de Touro, Granulitos Bandados de Apuiarés, Cataclastos da Falha Rio Groaíras e Milonitos de Mombaça obtiveram as menores pontuações para o uso turístico. Em comum, estes geossítios são altamente vulneráveis, não possuem atrativos cênicos, estão distantes de zonas recreativas e apresentaram baixo potencial para divulgação.

### 3.3 Avaliação das Prioridades de Proteção

A prioridade de proteção científica (PPC) obtida para os geossítios variou entre 350 e 735 pontos (para um valor máximo de 800 pontos): 14 sítios foram classificados com prioridade em curto prazo e 30 com prioridade em médio prazo. Os geossítios com prioridade em curto prazo foram considerados prioritários para a geoconservação (Tabela 4). Os sítios de geodiversidade não foram avaliados neste quesito por possuírem baixo valor científico (< 200 pontos).

Para a prioridade de proteção de interesse educativo (PPE), a pontuação obtida variou entre 355 e 515 (para um valor máximo de 800 pontos): seis sítios foram classificados com prioridade em curto prazo e 46 com prioridade em médio prazo. No caso da prioridade de interesse turístico (PPT), a pontuação obtida variou entre 310 e 580 (para um valor máximo de 800 pontos): três sítios foram classificados com prioridade em curto prazo e 49 com prioridade em médio prazo. Os geossítios Gnaiss Tonalítico de Mombaça, Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca e Gonditos de Madalena receberam classificação de prioridade em curto prazo para as três situações de avaliação (Tabela 4).

**Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária: Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil**  
*Pâmella Moura; Maria da Glória Motta Garcia & José Brilha*

Sítios Geológicos	Valor Científico (A)								Risco de Degradação (B)					
	1	2	3	4	5	6	7	VC	1	2	3	4	5	RD
Inselbergue Pedra do Cruzeiro	4	0	2	4	1	2	4	265	0	4	2	4	1	190
Campo de Inselbergues de Quixadá	4	0	2	4	2	4	4	300	1	4	2	3	1	210
Pedra do Frade	2	0	0	4	1	2	2	175	0	4	1	1	2	135
Inselbergues de Irauçuba	2	0	2	4	1	2	4	205	1	1	4	4	1	205
Pico Serra Branca	4	0	0	4	1	4	4	285	0	0	2	1	1	65
Serra do Barriga	4	1	4	4	1	2	4	295	2	4	2	2	1	230
Serra do Pajé	4	1	0	4	2	4	4	310	0	1	2	1	1	85
Granito Quixadá	2	1	2	2	1	2	4	195	2	4	4	4	1	300
Sienogranito do Complexo Anelar de Quintas	4	1	4	4	1	4	4	325	1	0	2	2	1	115
Granito Quixeramobim	4	1	2	4	1	2	2	265	1	4	2	2	1	195
Ortognaisses Miloníticos de Umirim	2	0	0	4	1	4	4	225	2	4	2	4	1	260
Gnaiss Milonítico de Quixadá	4	0	0	4	1	4	2	265	2	4	2	3	1	245
Enderbitos do Lineamento Transbrasiliiano	2	0	4	2	1	2	4	185	2	2	2	3	1	205
Tectonito de Independência	2	0	2	4	1	4	4	235	2	4	4	4	1	300
Nappe Itatira	4	0	4	4	1	4	4	305	0	2	4	2	1	160
Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca	4	0	4	4	1	4	4	305	4	4	4	4	1	370
Cataclastos da Falha Rio Groaíras	4	0	0	2	1	4	4	255	4	4	4	4	1	370
Filitos do Lineamento Transbrasiliiano	1	0	0	2	1	2	4	135	4	4	2	4	1	330
Milonitos de Mombaça	2	0	0	2	1	4	4	195	4	4	4	4	1	370
Quartzo-Diorito de Taperuaba	4	1	4	4	1	1	2	260	1	4	1	4	1	205
Biotita Diatexito de Santa Quitéria	4	1	4	4	2	1	4	285	1	4	4	4	1	265
Biotita Monzogranito de Camará	4	1	4	4	1	1	4	280	1	4	4	4	1	265
Migmatitos Lagoa Caiçara	4	1	0	2	1	1	2	210	1	4	4	4	1	265
Hornblenda-Biotita Metatexito de Tejuçuoca	2	1	4	4	1	1	4	220	1	4	4	2	1	235
Gonditos de Madalena	2	0	1	2	1	4	4	200	4	4	4	4	1	370
Colofanito de Itataia	4	0	4	4	1	4	2	285	4	4	1	2	1	280
Formação Ferrífera Bandada de Boa Viagem	4	0	2	2	1	4	2	245	4	4	2	2	1	300
Escarnitos de Paraíso	4	0	2	2	1	4	2	245	4	1	1	1	1	205
Cromitito de Tróia	4	0	1	2	1	4	4	260	4	3	4	2	1	320
Kinzigito Cachoeira dos Loretos	2	0	4	2	2	4	2	200	2	4	1	3	1	225
Enderbitos de Alto Feliz	4	0	4	4	2	2	2	260	1	4	1	4	1	205
Granada-anfibolitos de Lagoa do Mato	4	0	2	4	2	4	4	300	3	4	4	2	1	305
Retroclogitos Faz. Ipueiras	4	0	4	2	2	2	4	250	4	3	2	2	1	280
Granada-anfibolitos de Boa Viagem	2	0	2	2	1	2	4	175	4	4	4	2	1	340
Granulitos Enderbíticos de Cariré	2	0	4	2	1	2	2	165	3	3	1	1	1	210
Sequência de Alta Pressão Faz. Cabeça de Touro	4	0	4	2	2	4	4	280	4	4	2	2	1	300
Granulitos Bandados de Apuiarés	4	0	4	4	2	4	2	290	4	4	1	2	1	280
Granada-Clinopiroxênio Anfibolito Fazenda Juazeiro	4	0	4	4	2	2	4	280	4	0	2	2	1	220
Gruta Casa de Pedra	4	0	1	4	1	2	4	260	2	4	2	2	1	230
Megaxenólitos de metassedimentos de Juatama	4	0	0	4	1	4	2	265	0	1	1	4	1	110
Furna dos Ossos	4	0	0	4	1	4	2	265	3	4	1	2	1	245
Granada Xisto Quixeramobim	4	1	2	4	1	4	2	295	2	4	2	3	1	245
Cianita-Sillimanita Gnaiss de Itatira	4	0	4	4	1	4	4	305	2	4	4	4	1	300
Gnaiss Deformado de Forquilha	2	0	0	2	1	4	4	195	2	4	4	4	1	300
Suíte Madalena	4	4	4	4	1	4	2	365	1	4	1	4	1	205
Metagabro do Complexo Cruzeta	4	1	0	2	2	4	4	280	3	4	2	4	1	295
Gnaiss Tonalítico de Mombaça	4	4	0	4	1	4	4	365	4	4	4	4	1	370
Micaxistos do Açude Limão-Choró	4	1	2	4	1	4	2	295	1	4	1	3	1	190
Gnaiss Tonalítico de Extrema	4	1	0	4	1	4	4	305	2	2	2	1	1	175
Gnaiss Tonalítico Pedra Branca	2	1	0	4	1	4	4	245	1	4	4	4	1	265
Sequência Greenstone de Pedra Branca	4	4	1	2	2	4	4	345	4	4	4	4	1	370
Diques Máficos de Boa Viagem	4	0	0	1	1	4	4	240	3	4	4	4	1	335

Tabela 2 Avaliação quantitativa do valor científico e risco de degradação dos sítios geológicos do DCC por meio da plataforma GE-OSSIT. Valor Científico: A1) Representatividade. A2) Local-Tipo. A3) Conhecimento Científico. A4) Integridade. A5) Diversidade geológica. A6) Raridade. A7) Limitações de Uso. Risco de Degradação: B1) Deterioração dos conteúdos geológicos. B2) Proximidade a zonas degradadoras. B3) Proteção Legal. B4) Acessibilidade. B5) Densidade Demográfica.

**Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária: Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil**  
*Pâmella Moura; Maria da Glória Motta Garcia & José Brilha*

Sítios Geológicos	Potencial Uso Educativo e Turístico (C)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PE	13	14	15	PT
Inselbergue Pedra do Cruzeiro	4	4	4	2	4	1	4	2	4	4	4	2	335	4	1	4	320
Campo de Inselbergues de Quixadá	4	3	4	2	4	1	4	2	4	4	4	2	325	4	1	4	310
Pedra do Frade	4	1	2	3	4	2	4	2	2	4	4	2	300	4	1	4	275
Inselbergues de Irauçuba	4	3	4	2	3	1	4	1	1	4	4	2	300	4	1	2	250
Pico Serra Branca	4	1	4	2	3	1	4	1	3	4	4	2	290	4	1	4	260
Serra do Barriga	3	2	4	2	4	1	4	0	3	4	4	2	290	4	1	4	250
Serra do Pajé	4	1	2	2	3	1	4	0	2	4	4	3	280	3	3	4	225
Granito Quixadá	3	3	4	2	4	1	1	0	2	4	4	2	280	3	1	4	225
Sienogranito do Complexo Anelar de Quintas	3	2	4	2	3	1	1	0	3	4	4	2	270	2	3	2	210
Granito Quixeramobim	3	2	2	2	4	1	1	0	3	4	4	2	265	4	1	1	210
Ortognaisses Miloníticos de Umirim	3	4	4	2	4	1	0	0	1	4	2	2	240	3	1	0	200
Gnaiss Milonítico de Quixadá	3	2	2	2	4	1	0	0	3	4	2	2	220	4	1	2	210
Enderbitos do Lineamento Transbrasiliano	3	2	4	2	3	1	1	0	1	4	2	2	220	3	1	0	180
Tectonito de Independência	3	4	4	2	3	1	0	0	1	4	1	2	215	2	1	4	205
Nappe Itatira	4	2	4	2	2	1	1	0	2	4	1	2	210	3	1	1	200
Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca	1	4	2	2	3	1	0	0	3	3	2	2	205	3	1	1	185
Cataclastos da Falha Rio Groairas	1	3	4	2	3	1	0	0	2	3	2	2	200	2	1	0	160
Filitos do Lineamento Transbrasiliano	1	4	2	2	4	1	1	0	1	4	1	2	195	2	3	4	195
Milonitos de Mombaça	1	3	4	2	4	1	0	0	1	4	1	1	180	2	1	0	160
Quartzo-Diorito de Taperuaba	3	4	2	2	3	1	4	0	4	4	1	2	240	2	3	4	255
Biotita Diatexitó de Santa Quitéria	3	4	2	2	3	1	2	0	4	4	1	3	240	2	1	1	220
Biotita Monzogranito do Camará	3	4	4	2	4	1	2	0	4	4	1	1	235	2	1	4	250
Migmatitos Lagoa Caiçara	3	4	4	2	3	1	0	0	4	4	1	2	230	2	1	1	220
Hornblenda-Biotita Metatexitó de Tejuçuoca	3	2	4	2	3	1	0	0	4	4	2	2	230	2	1	1	200
Gonditos de Madalena	1	4	4	2	4	1	1	0	1	3	2	1	205	3	1	1	185
Colofanito de Itataia	1	2	1	2	2	1	1	0	4	4	2	2	195	3	1	0	170
Formação Ferrífera Bandada de Boa Viagem	1	2	2	2	4	1	1	0	3	2	2	2	185	3	1	1	170
Escarnitos de Paraíso	1	1	2	2	3	1	1	0	3	4	1	2	170	2	1	0	150
Cromitito de Tróia	1	2	2	2	3	1	1	0	2	3	1	2	165	2	1	1	150
Kinzigito Cachoeira dos Loretos	3	3	2	2	3	1	1	0	4	4	1	3	225	2	1	1	205
Enderbitos de Alto Feliz	3	4	2	2	3	1	0	0	3	4	1	3	225	2	1	1	200
Granada-anfibolitos de Lagoa do Mato	2	2	4	2	3	1	0	0	4	4	1	3	210	2	1	1	190
Retroeclogitos Faz. Ipueiras	1	2	2	2	3	1	1	0	4	4	1	3	195	2	1	1	175
Granada-anfibolitos de Boa Viagem	1	2	4	2	3	1	0	0	4	4	1	2	190	2	1	1	180
Granulitos Enderbíticos de Cariré	2	1	2	2	3	1	0	0	4	4	1	2	180	2	1	1	170
Sequência de Alta Pressão Faz. Cabeça de Touro	1	2	2	2	3	1	1	0	3	3	1	3	180	2	1	1	160
Granulitos Bandados de Apuiarés	1	2	2	2	2	1	0	0	4	3	1	3	175	2	1	1	160
Granada-Clinopiroxênio Anfibolito Fazenda Juazeiro	1	1	2	2	3	1	1	0	4	2	1	3	165	2	1	1	155
Gruta Casa de Pedra	3	2	4	2	3	1	4	2	3	4	4	2	295	4	1	4	275
Megaxenólitos de metassedimentos de Juatama	4	4	2	2	4	1	2	0	3	4	3	2	280	4	1	1	245
Furna dos Ossos	2	2	2	2	3	1	4	2	3	4	4	2	275	4	1	4	255
Granada Xisto Quixeramobim	3	2	3	2	4	1	2	0	3	3	2	2	225	3	1	4	220
Cianita-Sillimanita Gnaiss de Itatira	3	4	2	2	3	1	0	0	3	3	1	3	215	3	1	0	200
Gnaiss Deformado de Forquilha	3	4	4	2	4	1	1	0	1	3	1	2	215	2	1	0	190
Suíte Madalena	4	4	2	2	2	1	1	0	4	4	4	3	300	4	1	0	235
Metagabro do Complexo Cruzeta	2	4	4	2	4	1	0	0	3	4	1	3	230	3	1	0	210
Gnaiss Tonalítico de Mombaça	1	4	4	2	4	1	0	0	4	4	1	2	215	3	1	0	210
Micaxistos do Açude Limão-Choró	3	3	2	2	2	1	1	0	1	4	2	2	215	3	1	4	195
Gnaiss Tonalítico de Extrema	3	1	4	2	3	1	0	0	4	4	1	2	200	3	1	0	195
Gnaiss Tonalítico Pedra Branca	3	3	2	2	4	1	0	0	3	3	1	2	200	2	1	1	190
Sequência Greenstone de Pedra Branca	1	4	4	2	3	1	0	0	3	2	1	3	195	2	1	0	175
Diques Máficos de Boa Viagem	1	4	4	2	4	1	0	0	1	3	1	2	190	2	1	1	170

Tabela 3 Avaliação quantitativa do potencial uso educativo e turístico dos sítios geológicos do DCC por meio da plataforma GEOSSIT. C1) Vulnerabilidade. C2) Acessibilidade. C3) Limitações de Uso. C4) Segurança. C5) Logística. C6) Densidade Demográfica. C7) Associação com outros valores. C8) Beleza Cênica. C9) Singularidade. C10) Condições de Observação. C11) Potencial Didático. C12) Diversidade Geológica. C13) Potencial para Divulgação. C14). Nível Econômico. C15) Proximidade a Zonas Recreativas

Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária: Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil  
Pâmella Moura; Maria da Glória Motta Garcia & José Brilha

Sítios Geológicos	Prioridades de Proteção						
	PPC	Pos.	Prazo	PPE	Prazo	PPT	Prazo
Inselbergue Pedra do Cruzeiro	455	37°	Médio	525	Médio	510	Médio
Campo de Inselbergues de Quixadá	510	25°	Médio	535	Médio	520	Médio
Pedra do Frade	-	-	-	435	Médio	410	Médio
Inselbergues de Irauçuba	410	41°	Médio	505	Médio	455	Médio
Pico Serra Branca	350	44°	Médio	355	Médio	325	Médio
Serra do Barriga	525	21°	Médio	520	Médio	480	Médio
Serra do Pajé	395	42°	Médio	365	Médio	310	Médio
Granito Quixadá	-	-	-	<b>580</b>	<b>Curto</b>	525	Médio
Sienogranito do Complexo Anelar de Quintas	440	39°	Médio	385	Médio	325	Médio
Granito Quixeramobim	460	35°	Médio	460	Médio	405	Médio
Ortognaises Miloníticos de Umirim	485	28°	Médio	500	Médio	460	Médio
Gnaiss Milonítico de Quixadá	510	24°	Médio	465	Médio	455	Médio
Enderbitos do Lineamento Transbrasiliano	-	-	-	425	Médio	385	Médio
Tectonito de Independência	535	19°	Médio	515	Médio	505	Médio
<i>Nappe</i> Itaira	465	34°	Médio	370	Médio	360	Médio
Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca	<b>675</b>	<b>3°</b>	<b>Curto</b>	<b>575</b>	<b>Curto</b>	<b>555</b>	<b>Curto</b>
Cataclastos da Falha Rio Groaíras	<b>625</b>	<b>4°</b>	<b>Curto</b>	<b>570</b>	<b>Curto</b>	530	Médio
Filitos do Lineamento Transbrasiliano	-	-	-	525	Médio	525	Médio
Milonitos de Mombaça	-	-	-	550	Médio	530	Médio
Quartzo-Diorito de Tapera	465	32°	Médio	445	Médio	460	Médio
Biotita Diatexito de Santa Quitéria	550	15°	Médio	505	Médio	485	Médio
Biotita Monzogranito do Camará	545	17°	Médio	500	Médio	515	Médio
Migmatitos Lagoa Caiçara	475	31°	Médio	495	Médio	485	Médio
Hornblenda-Biotita Metatexito de Tejuoca	455	36°	Médio	465	Médio	435	Médio
Gonditos de Madalena	<b>570</b>	<b>11°</b>	<b>Curto</b>	<b>575</b>	<b>Curto</b>	<b>555</b>	<b>Curto</b>
Colofanito de Itaita	<b>565</b>	<b>14°</b>	<b>Curto</b>	475	Médio	450	Médio
Formação Ferrífera Bandada de Boa Viagem	545	16°	Médio	485	Médio	470	Médio
Escarnitos de Paraíso	450	38°	Médio	375	Médio	355	Médio
Cromitito de Tróia	<b>580</b>	<b>7°</b>	<b>Curto</b>	485	Médio	470	Médio
Kinzigito Cachoeira dos Loretos	425	40°	Médio	450	Médio	430	Médio
Enderbitos de Alto Feliz	465	33°	Médio	430	Médio	405	Médio
Granada-anfibolitos de Lagoa do Mato	<b>605</b>	<b>5°</b>	<b>Curto</b>	515	Médio	495	Médio
Retroclogitos Faz. Ipeiras	530	20°	Médio	475	Médio	455	Médio
Granada-anfibolitos de Boa Viagem	-	-	-	530	Médio	520	Médio
Granulitos Enderbiticos de Cariré	-	-	-	390	Médio	380	Médio
Sequência de Alta Pressão Faz. Cabeça de Touro	<b>580</b>	<b>8°</b>	<b>Curto</b>	480	Médio	460	Médio
Granulitos Bandados de Apuiarés	<b>570</b>	<b>12°</b>	<b>Curto</b>	455	Médio	440	Médio
Granada-Clinopiroxênio Anfibolito Fazenda Juazeiro	500	26°	Médio	385	Médio	375	Médio
Gruta Casa de Pedra	490	27°	Médio	525	Médio	505	Médio
Megaxenólitos de metassedimentos de Juatama	375	43°	Médio	390	Médio	355	Médio
Furna dos Ossos	510	23°	Médio	520	Médio	500	Médio
Granada Xisto Quixeramobim	540	18°	Médio	470	Médio	465	Médio
Cianita-Sillimanita Gnaiss de Itaira	<b>605</b>	<b>6°</b>	<b>Curto</b>	515	Médio	500	Médio
Gnaiss Deformado de Forquilha	-	-	-	515	Médio	490	Médio
Suíte Madalena	<b>570</b>	<b>13°</b>	<b>Curto</b>	505	Médio	440	Médio
Metagabro do Complexo Cruzeta	<b>575</b>	<b>10°</b>	<b>Curto</b>	525	Médio	505	Médio
Gnaiss Tonalítico de Mombaça	<b>735</b>	<b>1°</b>	<b>Curto</b>	<b>585</b>	<b>Curto</b>	<b>580</b>	<b>Curto</b>
Micaxistos do Açude Limão-Choró	485	29°	Médio	405	Médio	385	Médio
Gnaiss Tonalítico de Extrema	480	30°	Médio	375	Médio	370	Médio
Gnaiss Tonalítico Pedra Branca	510	22°	Médio	465	Médio	455	Médio
Sequência Greenstone de Pedra Branca)	<b>715</b>	<b>2°</b>	<b>Curto</b>	<b>565</b>	<b>Curto</b>	545	Médio
Diques Máficos de Boa Viagem	<b>575</b>	<b>9°</b>	<b>Curto</b>	525	Médio	505	Médio

Tabela 4 Avaliação das prioridades de proteção científica (PPC), educativa (PPE) e turística (PPT) dos sítios geológicos do DCC por meio da plataforma GEOSSIT. POS: Posição no ranking de avaliação.

## 4 Discussão

A utilização do GEOSIT na avaliação do patrimônio geológico do DCC visa contribuir para a construção do inventário nacional e sistematização da avaliação do patrimônio geológico no país (Schobbenhaus *et al.*, 2015), contribuindo para a ampla utilização da plataforma nos estudos de geoconservação realizados no Brasil, conforme análise de Romão & Garcia (2017).

### 4.1 Valor Científico e Risco de Degradação dos Sítios Geológicos

Na avaliação do valor científico, a ocorrência de extensivas pesquisas científicas ou mapeamentos sistemáticos foram fundamentais para a atribuição de pontuação elevada, conferindo 2 ou 4 pontos para cada sítio. O geossítio Suíte Madalena (Figura 2), por exemplo, foi um dos avaliados com o maior valor científico (365 pontos), sobretudo por existirem publicações internacionais sobre os elementos geológicos principais deste sítio e por representar uma das unidades litodêmicas de Cavalcante *et al.* (2003).

Por outro lado, 21 geossítios representativos da evolução geológica do DCC foram pontuados com 0 ou 1 ponto por não existirem publicações científicas em revistas indexadas (nacionais ou internacionais). Por exemplo, não existem publicações internacionais sobre o geossítio Granada-anfibolitos de Lagoa do Mato (Figura 2), nem tampouco este local consta nos léxicos estratigráficos do Brasil. Embora tenha sido bem avaliado nos demais critérios e permita interpretar eventos geológicos que ocorreram na região durante o Neoproterozoico, obteve a 11º melhor pontuação, com 300 pontos. Como estes dois critérios de avaliação (*Local Tipo e Conhecimento Científico*) são passíveis de mudanças frente ao desenvolvimento de novos estudos e publicações, o valor científico de geossítios como este pode ser incrementado. Neste caso, uma única publicação internacional conferiria a este geossítio a 5º melhor pontuação. Para Brilha (2016) a ausência de publicações não implica, automaticamente, que o geossítio tenha baixo valor para ciência já que pode refletir uma nova descoberta que ainda não foi publicada ou representar uma área com baixa tradição em pesquisas geológicas.

Ainda nesta avaliação, sete geossítios foram bem avaliados em relação às suas características intrínsecas, mas apresentaram limitações de uso, como por exemplo, o geossítio Granulitos Bandados de Apuiarés (Figura 2). Este geossítio está localizado em propriedade privada, em uma área remota e com acesso somente por estrada carroçável. A boa relação da comunidade científica com o responsável pelo local pode garantir a conservação do geossítio, do mesmo modo, a simples interposição do proprietário poderia impedir a continuidade das pesquisas científicas neste afloramento. Esses exemplos demonstram que o valor científico dos geossítios pode ser dinâmico e sua valoração apresenta caráter funcional para aspectos pertinentes à conservação do patrimônio geológico, como o direcionamento de recursos, prioridades de ação, divulgação, etc.

No que diz respeito ao risco de degradação, o critério *Proximidade a áreas/atividades com potencial para causar degradação* obteve as maiores pontuações na avaliação do risco de degradação, seguido pela *Acessibilidade*. Apesar do critério *Deterioração dos Conteúdos* apresentar o maior peso, ele foi apenas o quarto a receber a maior pontuação. Como a densidade demográfica de todos os municípios é similar - apenas um município tem mais de 100 habitantes/km<sup>2</sup>, este critério teve pouca influência nesta avaliação. A partir da identificação em alguns sítios de fatores de fragilidade e vulnerabilidade, foram propostas ações de modo a promover a sua proteção (Figura 3).

### 4.2 Potencial uso dos Sítios Geológicos no Domínio Ceará Central

A geoconservação caracteriza-se como uma nova abordagem das geociências aplicada ao desenvolvimento sustentável (Henriques *et al.*, 2011). Por conseguinte, o bom resultado das estratégias de geoconservação passa pelo entendimento, valoração e proteção dos elementos a serem conservados e de ações para a valorização e conscientização, como atividades educativas e uso turístico do patrimônio geológico (Burek & Prosser, 2008; Fassoulas *et al.*, 2012; Ólafsdóttir & Dowling 2014).

Neste contexto, a avaliação de potencial uso educativo indicou sítios geológicos que podem ser

Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária: Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil  
Pâmella Moura; Maria da Glória Motta Garcia & José Brilha



Figura 2 A.B. *Geossítio Suíte Madalena*: batólito quartzo-diorítico representante de relevante evento plutônico paleoproterozoico C.D. *Geossítio Granada Anfibolitos de Lagoa do Mato*: afloramento formado por *boudins* métricos de granada-anfibolito dispostos em biotita gnaiss, registros de metamorfismo de alta pressão em condições de retrometamorfismo. E.F. *Geossítio Granulitos Bandados de Apuiarés*: blocos *in situ* de granulitos máficos bandados, com cristais centimétricos de ortopiroxênio, resultantes do metamorfismo de alta temperatura que atingiu a porção nordeste do Domínio Ceará Central há cerca de 600 Ma.





<p>Situação de Risco: em função das características intrínsecas do sítio</p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="464 1091 798 1204"> <p><b>Características</b> Rochas friáveis ou com alta densidade de fraturas, ou com estágio avançado de alteração</p> </td> <td data-bbox="882 1091 1102 1204"> <p><b>Ações iniciais</b> Sinalizar Proibir pisoteamento Remover vegetação</p> </td> </tr> </table> <p>Exemplo: Cataclasitos da Falha Rio Groaíras</p>	<p><b>Características</b> Rochas friáveis ou com alta densidade de fraturas, ou com estágio avançado de alteração</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Sinalizar Proibir pisoteamento Remover vegetação</p>	
<p><b>Características</b> Rochas friáveis ou com alta densidade de fraturas, ou com estágio avançado de alteração</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Sinalizar Proibir pisoteamento Remover vegetação</p>		
<p>Situação de Risco: em função da tipologia</p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="464 1332 791 1410"> <p><b>Características</b> Pontos e seções de pequenas dimensões</p> </td> <td data-bbox="903 1332 1070 1410"> <p><b>Ações iniciais</b> Delimitar a área Sinalizar</p> </td> </tr> </table> <p>Exemplo: Milonitos de Mombaça</p>	<p><b>Características</b> Pontos e seções de pequenas dimensões</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Delimitar a área Sinalizar</p>	
<p><b>Características</b> Pontos e seções de pequenas dimensões</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Delimitar a área Sinalizar</p>		
<p>Situação de Risco: em função da localização</p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="464 1551 767 1630"> <p><b>Características</b> Sítios localizados em áreas urbanas e cortes de estrada</p> </td> <td data-bbox="847 1551 1110 1651"> <p><b>Ações iniciais</b> Delimitar área Comunicar a entidade responsável pela rodovia</p> </td> </tr> </table> <p>Exemplo: Gnaiss Tonalítico de Mombaça</p>	<p><b>Características</b> Sítios localizados em áreas urbanas e cortes de estrada</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Delimitar área Comunicar a entidade responsável pela rodovia</p>	
<p><b>Características</b> Sítios localizados em áreas urbanas e cortes de estrada</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Delimitar área Comunicar a entidade responsável pela rodovia</p>		
<p>Situação de Risco: em função das atividades antrópicas</p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="464 1757 807 1857"> <p><b>Características</b> Sítios localizados em pedreiras, minerações ou áreas com atividades agrícolas</p> </td> <td data-bbox="815 1757 1150 1857"> <p><b>Ações iniciais</b> Comunicar o responsável pelo local Delimitar área para preservação</p> </td> </tr> </table> <p>Exemplo: Gnaiss Milonítico de Quixadá</p>	<p><b>Características</b> Sítios localizados em pedreiras, minerações ou áreas com atividades agrícolas</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Comunicar o responsável pelo local Delimitar área para preservação</p>	
<p><b>Características</b> Sítios localizados em pedreiras, minerações ou áreas com atividades agrícolas</p>	<p><b>Ações iniciais</b> Comunicar o responsável pelo local Delimitar área para preservação</p>		

Figura 3 Situações de fragilidade e vulnerabilidade identificadas nos sítios geológicos inventariados no DCC

direcionados para diversos usos educativos, adaptados a diversos níveis de ensino. Por exemplo, o geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro, que obteve a maior pontuação na avaliação do potencial uso educativo, pode ser utilizado como exemplo didático para o estudo de rochas ígneas, bem como para a compreensão do desenvolvimento de processos de formação de diferentes feições de relevo em fácies graníticas e de processos de dissolução diferencial, como caneluras de dissolução (Figura 4).

A avaliação quantitativa do potencial uso turístico permitiu selecionar quais geossítios seriam

mais promissores para integrar um roteiro baseado em geoturismo, ou alguma estratégia de interpretação geológica da região. Os sítios que obtiveram as maiores pontuações apresentam características cênicas superlativas relacionadas à composição da paisagem, além de associações com valores ecológicos e/ou culturais, principalmente de cunho histórico/arqueológico ou relacionados ao patrimônio imaterial, como lendas, identidade cultural e atividades religiosas e esportivas. O sítio de geodiversidade Pedra do Frade, por exemplo, reúne conjunto paisagístico formado por um maciço residual cristalino (Maciço

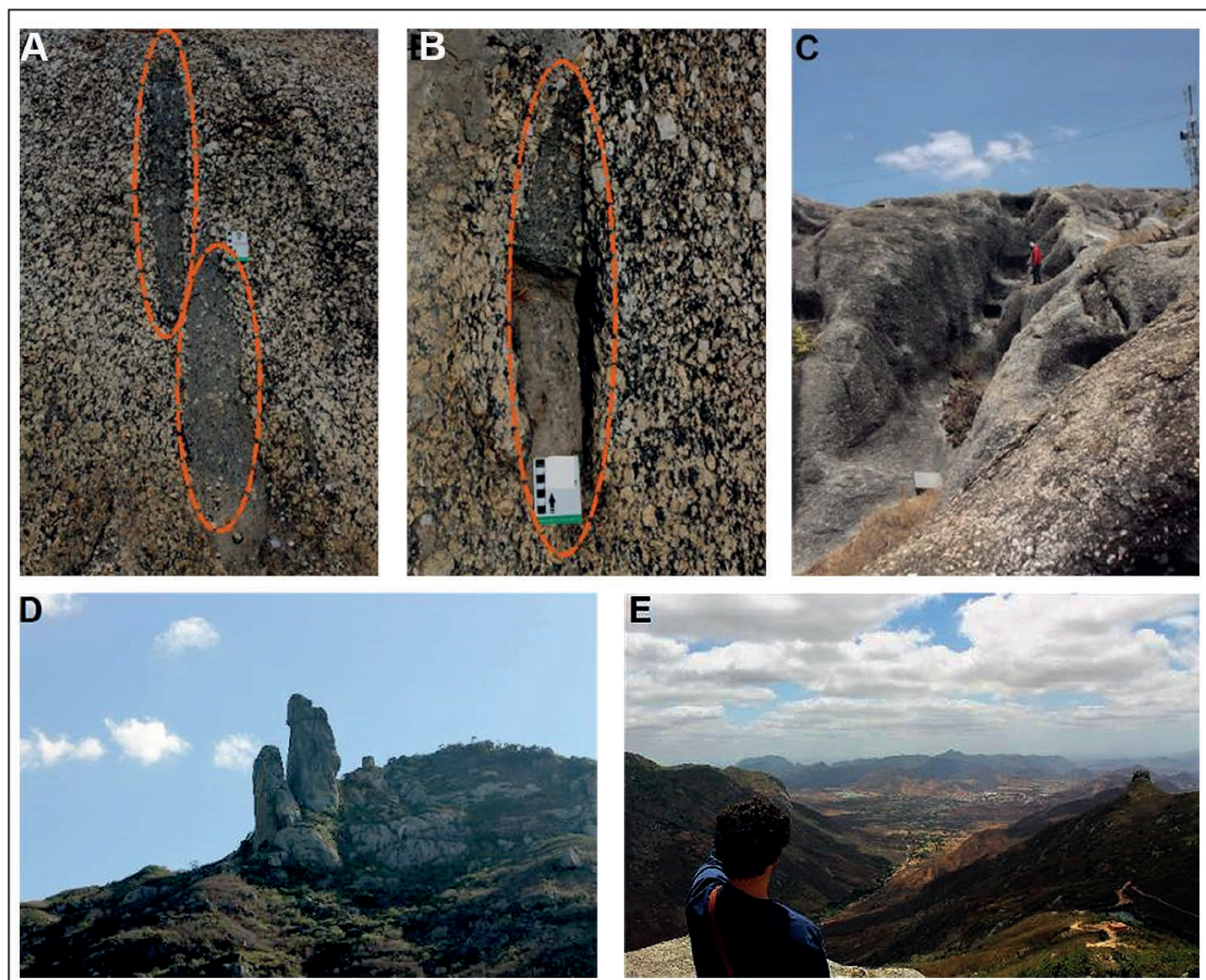


Figura 4 Exemplo de elementos da geodiversidade com potencial para uso educativo do geossítio Inselbergue Pedra do Cruzeiro. A. Xenólitos máficos no corpo granítico. B. Microbacias de dissolução formadas por dissolução diferencial a partir do xenólito. C. Estágio de dissolução com desenvolvimento de caneluras. Exemplo de uso turístico do sítio de geodiversidade Pedra do Frade. D. Pico granítico que dá nome ao local embriado no topo do maciço de Uruburetama. E. Vista panorâmica da paisagem do semiárido cearense a partir do mirante localizado na base da geoforma.

de Uruburetama), pelo vale na base do maciço e diversas geoformas. A geoforma que dá nome ao local se destaca no topo do maciço e foi adotada com símbolo do município de Itapajé (CE), onde existem contos populares a respeito de sua formação (Figura 4).

### 4.3 Sítios Geológicos Prioritários nas Estratégias de Geoconservação

Ainda que a avaliação quantitativa do valor científico e dos potenciais usos tenha entre seus objetivos gerar um ordenamento entre os sítios geológicos inventariados, a avaliação das prioridades de proteção possibilita identificar quais sítios devem receber as primeiras ações e recursos para sua conservação, tendo em vista seus valores, usos potenciais e riscos de degradação (Garcia-Cortés & Carcavilla, 2009). Considerando o valor científico do inventário, a metodologia de avaliação aplicada no GEOSIT indicou como prioritários os geossítios que também apresentaram elevado valor científico. Para os demais valores (educativo e turístico), a avaliação da prioridade de proteção não foi suficiente para apontar de maneira objetiva quais os geossítios deveriam ser priorizados.

Uma vez que a avaliação é resultante da soma entre o potencial uso e o risco de degradação, muitos geossítios foram considerados prioritários somente por seu elevado risco de degradação, o que não é suficiente para justificar posições de prioridade nas estratégias de geoconservação. Entre os 10 geossítios prioritários para proteção de interesse turístico, por exemplo, apenas o 10º colocado obteve potencial uso turístico relevante, e sete obtiveram pontuações abaixo de 200 pontos neste quesito. A conservação de um sítio geológico com valor educativo ou turístico somente se justifica se estes locais forem efetivamente utilizados como recurso para estes fins (Brilha, 2016).

Não obstante a avaliação das prioridades de proteção do GEOSIT considerar a mesma importância para o risco de degradação e o interesse do geossítio, o método de Garcia-Cortés & Carcavilla (2009), utilizado como base para o GEOSIT, aponta para a necessidade de garantir maior importância

ao interesse do lugar do que ao seu risco de degradação. Em vista disto, para direcionar as ações de valorização e proteção a geossítios com efetivo potencial de uso, o ordenamento das prioridades foi revisto, considerando apenas os geossítios com potencial uso acima de 250 pontos. Desta forma, estabeleceu-se um novo ordenamento de geossítios prioritários para a geoconservação, considerando os diferentes usos (Figura 5). Esta nova abordagem classificou 14 sítios prioritários para a educação e 08 sítios prioritários para o geoturismo (Tabela 5).

Embora na avaliação do potencial uso turístico, os geossítios Quartzo Diorito de Taperuaba e Biotita Monzogranito do Camará tenham obtidos 255 e 250 pontos, respectivamente, eles foram desconsiderados para futuras estratégias de geoturismo na região. Estes geossítios não apresentam nenhuma característica intrínseca que justifique o uso para este fim e obtiveram altas pontuações devido à boa avaliação que apresentaram nos critérios de acessibilidade, localização, condições de observação e infra-estrutura.

A partir da análise dos sítios prioritários, quatro áreas foram delimitadas para desenvolvimento de futuras estratégias de geoconservação no DCC, considerando os critérios: *i*) presença de sítios prioritários (geossítios ou sítios de geodiversidade) para uso educativo e turístico, *ii*) presença de geossítios com prioridade de proteção científica em curto prazo e; *iii*) regiões de planejamento definidas no Estado do Ceará pela Lei Complementar nº 154/2015 (Figura 6).

Com bases nestes critérios, estas áreas se adequam às unidades territoriais já amplamente difundidas para a geoconservação, como aquelas adotadas para a criação dos geoparques mundiais da UNESCO. Borba (2017) adotou método similar para delinear áreas para a criação de um geoparque em Caçapava do Sul (RS), reiterando a importância da abordagem territorial nas estratégias de geoconservação. Embora a criação de geoparques não seja objeto do presente estudo, o recorrente sucesso desta iniciativa justifica a aplicação de suas premissas para respaldar estratégias de geoconservação em áreas extensas, como o DCC.



Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária: Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil  
Pâmella Moura; Maria da Glória Motta Garcia & José Brilha

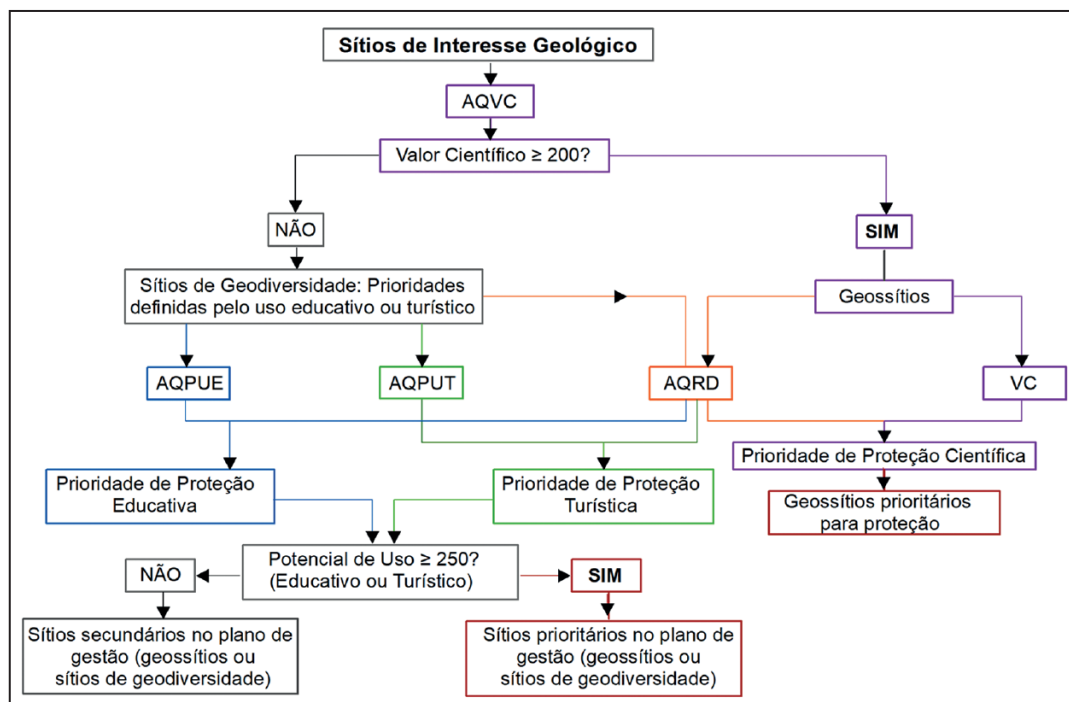


Figura 5 Fluxograma do processo de seleção e definição dos sítios prioritários a partir do método GEOSSIT. AQVC: Avaliação Quantitativa de Valor Científico, AQRD: Avaliação Quantitativa do Risco de Degradação, AQPUE: Avaliação Quantitativa do Potencial de Uso Educativo, AQPUT: Avaliação Quantitativa do Potencial de Uso Turístico.

Geossítios Prioritários para Educação	PUE	Ranking PPE/GEOSSIT	Nova Posição
Granito Quixadá	280	2º	1º
Campo de Inselbergues de Quixadá	325	8º	2º
Inselbergue Pedra do Cruzeiro	335	11º	3º
Gruta Casa de Pedra	295	14º	4º
Furna dos Ossos	275	15º	5º
Serra do Barriga	290	16º	6º
Inselbergues de Irauçuba	300	22º	7º
Suíte Madalena	300	23º	8º
Granito Quixeramobim	265	36º	9º
Pedra do Frade	300	40º	10º
Megaxenólitos de Metassedimentos de Juatama	280	45º	11º
Sienogranito do Complexo Anelar de Quintas	270	47º	12º
Serra do Pajé	280	51º	13º
Pico Serra Branca	290	52º	14º
Geossítios Prioritários para Geoturismo	PUT	Ranking PPT/GEOSSIT	Nova Posição
Campo de Inselbergues de Quixadá	310	10º	1º
Inselbergue Pedra do Cruzeiro	320	12º	2º
Gruta Casa de Pedra	275	16º	3º
Furna dos Ossos	255	18º	4º
Serra do Barriga	250	23º	5º
Inselbergues de Irauçuba	250	33º	6º
Pedra do Frade	275	39º	7º
Pico Serra Branca	260	51º	8º

Tabela 5 Sítios Geológicos prioritários para as estratégias de geoconservação direcionadas ao uso educativo e turístico dos geossítios. Potencial Uso Educativo (PUE), Potencial Uso Turístico (PUT). Prioridades de proteção educativa (PPE) e turística (PPT).

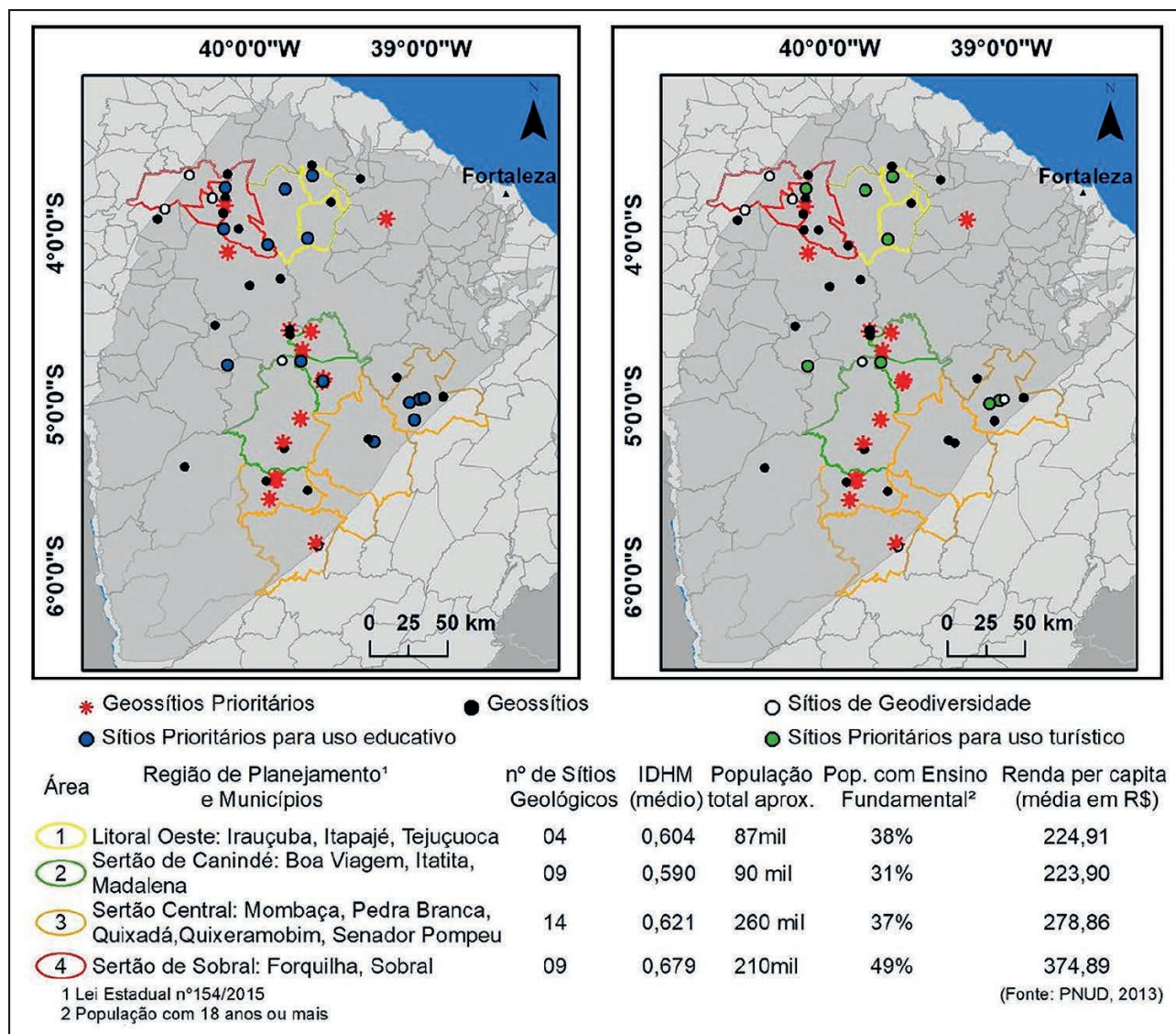


Figura 6 Áreas prioritárias para o desenvolvimento de estratégias de geoconservação no Domínio Ceará Central e localização dos geossítios, sítios de geodiversidade e sítios prioritários para proteção educativa e uso educativo e turístico

## 5 Conclusões

A avaliação quantitativa do patrimônio geológico do Domínio Ceará Central permitiu definir as prioridades de proteção dos sítios geológicos, tanto para a proteção e promoção do valor científico, como para destacar os sítios prioritários nas estratégias de desenvolvimento sustentável, com base no potenciais usos educacional e turístico. Ficou demonstrado que o patrimônio geológico do DCC contempla geossítios de relevante valor científico, o que justifica a conservação destes locais pela sua relevância para as geociências, tanto do ponto de vista da his-

tória da geologia, como para a formação de novos profissionais. Com relação ao risco de degradação, a avaliação possibilitou caracterizar situações de fragilidade e vulnerabilidade que podem auxiliar no delineamento de ações direcionadas para a proteção dos diversos sítios geológicos do DCC. No entanto, é necessário que cada um dos casos seja avaliado individualmente, considerando todas as situações de risco associadas.

As feições geomorfológicas foram preponderantes para a avaliação do potencial uso educativo e

turístico, sobretudo por estas características influenciarem positivamente critérios como vulnerabilidade, beleza cênica e condições de observação. Apesar do conjunto inventariado apresentar potencial uso educativo moderado, os geossítios podem ser utilizados em diversos níveis de ensino, sendo relevante para a formação de futuros profissionais em geociências no nordeste do Brasil. O potencial uso turístico também se apresenta moderado, com destaque para alguns locais já utilizados como atrativos turísticos ou áreas recreativas. No entanto, as estratégias de geoconservação podem ser aplicadas para divulgar e valorizar os geossítios junto das comunidade locais do município e áreas adjacentes.

A avaliação das prioridades de proteção obtidas pelo GEOSSIT foi satisfatória no que concerne ao valor científico dos diversos sítios geológicos. Com respeito aos interesses educativos e turísticos, alguns sítios classificados como prioritários não obtiveram relevante potencial de uso. Em vista disso, este trabalho apresentou a revisão das prioridades, considerando somente os sítios com alto potencial de uso. Uma das áreas identificadas pela avaliação dos sítios prioritários será selecionada para o desenvolvimento de uma proposta detalhada de geoconservação para o patrimônio geológico do DCC.

Espera-se que este trabalho contribua tanto para o aprimoramento das metodologias utilizadas na plataforma GEOSSIT, quanto para a composição de um futuro inventário nacional de sítios geológicos.

## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de mobilidade acadêmica Programa PDSE/Processo nº 88881.132168/2016-01 concedida a primeira autora.

## 7 Referências

- Almeida, A.R.; Ulbrich, H.G.J. & McReath, I. 1999. O Batólito Quixadá: petrologia e geoquímica. *Rev. Geologia*, 12: 29-52.
- Amaral, W.S.; Santos, T.J.S.; Wernick, E.; Nogueira, Neto J.A.; Dantas, E.L. & Matteini, M. 2012. High-pressure granulites from Cariré, Borborema Province, NE Brazil: Tectonic setting, metamorphic conditions and U–Pb, Lu–Hf and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Research*, 22:892-909.
- Borba, A.W. 2017. Um Geopark na região de Caçapava do Sul (RS, Brasil): Uma discussão sobre viabilidade e abrangência territorial. *Geographia Meridionalis*, 3(1): 104-133.
- Brilha, J. 2016. Inventory and Quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage* 8(2): 119-134
- Brilha, J. 2005. *Patrimônio Geológico e Geoconservação: A conservação da natureza na sua vertente geológica*. Braga: Palimage Editores, 190 p.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M. & Fuck, R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, 22(3):155-166.
- Burek, C.V. & Prosser, C.D. 2008. The history of geoconservation: an introduction. In: C.V. BUREK & C.D. PROSSER (Ed.). *The History of Geoconservation: Special Publication*. Geological Society, London, p. 1-5.
- Carcavilla, L.U.; López-Martínez, J. & Durán, J.J. 2007. *Patrimônio Geológico y Geodiversidad: investigación, conservación y relación con los espacios naturales protegidos*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 360 p.
- Castro, N.A.; Araújo, C.E.G.; Basei, M.A.S.; Osako, L.S.; Nutman, A.A. & Liu, D. 2012. Ordovician A-type granitoid magmatism on the Ceará Central Domain, Borborema Province, NE-Brazil. *J. South American Earth Sciences*, 36:18-31.
- Cavalcante, J.C.; Vasconcelos, A.M.; Medeiros, M.F.; Paiva, I.P.; Gomes, F.; Cavalcante, S.N.; Cavalcante, J.C.; Melo, A. C.R.; Duarte, Neto V.C. & Benevides, H.C. 2003. Mapa geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000. Fortaleza, Secretaria das Minas e Energia, CPRM.
- Fassoulas, C.; Mouriki, M.; Dimitriou-Nikolalis, P. & Iliopoulos, G. 2012. Quantitative Assessment of Geotopes as an Effective Tool for Geoheritage Management. *Geoheritage*, 4(3):177-193.
- Fetter, A.H.; Santos, T.J.S.; Van Schmus, W.R.; Hackspacher, P.C.; Brito Neves, B.B.; Arthaud, M.H.; Nogueira Neto, J.A. & Wernick, E. 2003. Evidence for neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 6(2): 265-273.
- Fetter, A.H.; Van Schmus, W.R.; Santos, T.J.S.; Nogueira Neto, J.A. & Arthaud, M.H. 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE-Brazil: Implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent “Atlantica”. *Brazilian J. Geology*, 30: 102-106.
- García-Cortés, A & Carcavilla, L.U. 2009. *Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de lugares de interés geológico (IELIG)*. 2. ed. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 64 p. Versão de18-07-2013.
- Henriques, M.H.; Reis, R.P.; Brilha, J. & Mota, T. 2011. Geoconservation as an Emerging Geoscience. *Geoheritage*, 3(2): 117-128.
- Lima, E.R.; Rocha, A.J.D. & Schobbenhaus, C. 2012. GEOS-

**Identificação de Sítios Geológicos para Gestão Prioritária: Propostas para a Geoconservação no Domínio Ceará Central, Nordeste do Brasil**  
*Pâmella Moura; Maria da Glória Motta Garcia & José Brilha*

- SIT: Uma ferramenta para o Inventário de geossítios. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 46, Santos, 2012., *Anais da Soc. Bras. Geol.*, s/n.
- Lima, L.C.; Morais, J.O. & Souza, M.J.N. 2000. *Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará*. Fortaleza, FUNECE, 268 p.
- Maia, R.P.; Bezerra, F.H.R. & Sales, V.C. 2010. Geomorfologia Do Nordeste: Concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento nordestinas. *Rev. Geografia*, 1(1): 6-19.
- Moura, P.; Garcia, M.G.M.; Brilha, J. & Amaral, W.S. 2017. Conservation of geosites as a tool to protect geoheritage: the inventory of Ceará Central Domain, Borborema Province - NE/Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(4): 2625-2645.
- Ólafsdóttir, R. & Dowling, R. 2013. Geotourism and Geoparks—A Tool for Geoconservation and Rural Development in Vulnerable Environments: A Case Study from Iceland. *Geoheritage*, 6(1):71-87.
- Pereira, R.F. & Brilha, J. 2010. Proposta de quantificação do patrimônio geológico da Chapada Diamantina (Bahia, Brasil). *Geosciences On-line Journal*, 18(8):1-4.
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). 2013. *Atlas do desenvolvimento humano do Brasil*. Brasília, PNUD, IPEA, FJP. 96p. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em: 18.ago.2015 e 29.jun.2016.
- Reynard, E.; Fontana, E.; Kozlik, L. & Scapozza, C. 2007. A method for assessing the scientific and additional values of geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 62(3):148- 158.
- Rocha, A.J.D.; Lima E. & Schobbenhaus, C. 2016. Aplicativo GEOSIT – nova versão. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 48, Porto Alegre, 2016. *Anais da Soc. Bras. Geol.*, p. 6389.
- Romão, R.M.M. & Garcia, M.G.M. 2017. Initiatives of Inventory and Quantification of Geological Heritage in Brazil: an overview. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(2): 250-265.
- Sales, V.C. & Peulvast, J.P. 2007. Evolução morfoestrutural do revelo da margem continental do estado do Ceará, nordeste do Brasil. *Caminhos de Geografia*, 7(20): 1-21.
- Santos, T.J.S; Garcia, M.G.M.; Amaral, W.S.; Caby, R.; Wernick, E.; Arthaud, M.H.; Dantas, E.L. & Santosh, M. 2009. Relics of eclogite facies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 15(3-4): 454-470.
- Schobbenhaus, C.; Rocha, A.J.D.; Winge, M. & Lima, E. 2015. Inventário de Sítios do Patrimônio Geológico do Brasil. *In: GEOBRHERITAGE-SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATRIMÔNIO GEOLÓGICO*, III, Lençóis, 2015. *Anais*, 468-471p.
- Zouros, N.C. 2005. Assessment, protection and promotion of geomorphological and geological sites in the Aegean area, Greece. *Géomorphologie*, 3: 227-234.

## APÊNDICE C - GEOSSÍTIOS DO INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO DO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL

**Nome do Geossítio:** Gnaisse Tonalítico de Extrema

**Identificação:** P-54

**Município:** Pedra Branca

**Coordenadas (UTM):** 399650 / 9398459

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em estrada carroçável, sentido à localidade de Extrema, com acesso a partir da BR-226.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Indiferenciado

**Interesse geológico principal:** Geocronológico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 305

**Potencial uso educativo:** 200

**Risco de Degradação:** 175

**Potencial uso turístico:** 195

**Descrição:** Geossítio representante de um dos tipos litológicos mais antigos do Domínio Ceará Central e de um dos litotipos característicos da Unidade Pedra Branca. O afloramento ocorre como um lajedado com aproximadamente 15 metros de extensão, formado por gnaisse tonalítico bastante deformado, com intrusões de pegmatito. Apresenta idades U-Pb em torno de 2,88 Ga e idades modelo em Sm/Nd de 2,69 Ga.

**Referências:** Fetter (1999)

### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para os bolsões de leucossoma. b) Detalhe do geossítio com destaque para a intrusão de material pegmatítico cortando o pacote

**Nome do Geossítio:** Gnaiss Tonalítico Pedra Branca

**Identificação:** P-52

**Município:** Pedra Branca

**Coordenadas (UTM):** 426553 / 9392463

**Acesso/Localização:** Geossítio localizado em corte da CE-226, entre Mineirolândia e Pedra Branca

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Indiferenciado

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Geocronológico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 245

**Potencial uso educativo:** 200

**Risco de Degradação:** 265

**Potencial uso turístico:** 190

**Descrição:** Geossítio representante de um dos litotipos característicos da Unidade Pedra Branca, com registros tectônicos associados à Falha Sabonete-Inharé, que secciona o Maciço de Tróia em duas porções. O afloramento é formado por gnaiss tonalítico bastante homogêneo, com foliação de baixo ângulo na direção NE-SW, lineação mineral de baixo ângulo com caimento para NW, algumas intrusões de material pegmatítico e registro de movimento de topo para SE. Datações U-Pb indicam idades em torno de 2,77 Ga e idades modelo Sm-Nd de 2,92 Ga.

**Referências:** Fetter (1999), Almeida, Parente e Arthaud (2007)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Vista geral do geossítio de gnaiss tonalítico. b) Detalhe do gnaiss tonalítico com aspecto homogêneo e bandamento incipiente

**Nome do Geossítio:** Sequência tipo *Greenstone* de Pedra Branca **Identificação:** P-53

**Município:** Pedra Branca

**Coordenadas (UTM):** 407142 / 9399571

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado à beira da BR-226, em torno de 16 quilômetros da sede de Pedra Branca.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Indiferenciado

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Geocronológico e Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 345

**Potencial uso educativo:** 195

**Risco de Degradação:** 370

**Potencial uso turístico:** 175

**Descrição:** Geossítio representante da sequência *greenstone*, um dos tipos litológicos característicos do Maciço de Tróia, além de representar um dos litotipos mais antigos do Domínio Ceará Central. O afloramento é formado por um pacote félsico e compacto de composição quartzo-feldspática, caracterizado como metarriolito, intercalado por uma porção máfica, xistosa com presença de actinolita. Esta associação caracteriza a sequência tipo *greenstone belt* descrita para o Maciço. Datações U-Pb realizadas no metarriolito apontam idades de 2,78 Ga e idades modelo em Sm-Nd apontam 2,81 Ga.

**Referências:** Fetter (1999), Almeida, Parente e Arthaud (2007)

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do pacote quartzo-feldspático que compõe o geossítio. b) Aspecto do xisto-máfico, com presença de actinolita. Destaque para avançado grau de alteração da rocha

**Nome do Geossítio:** Gnaisse Tonalítico de Mombaça

**Identificação:** P-50

**Município:** Mombaça

**Coordenadas (UTM):** 432291 / 9358537

**Acesso/Localização:** Geossítio localizado em corte da rodovia CE-060, cerca de 7 quilômetros ao sul da sede de Mombaça.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Unidade Mombaça

**Interesse geológico principal:** Geocronológico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 365

**Potencial uso educativo:** 215

**Risco de Degradação:** 370

**Potencial uso turístico:** 210

**Descrição:** Geossítio representante de um dos litotipos mais antigos do Domínio Ceará Central e característico da Unidade Mombaça. Afloramento formado por gnaisse tonalítico de cor cinza, bandado, com foliação de alto ângulo na direção NE-SW e porções *boudinadas*, provavelmente relacionadas à Zona de Cisalhamento Senador Pompeu. Dobras intrafoliais atestam o caráter transposto da foliação. O afloramento se encontra bem preservado, porém uma boa parte foi removida recentemente para ampliação da rodovia. Análises U-Pb em zircões indicam idades em torno de 2,79 Ga.

**Referências:** Fetter (1999)

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio. Destaque para o estado de conservação do afloramento. b) Detalhe do bandamento com destaque para dobras intrafoliais.



**Nome do Geossítio:** Diques Máficos de Boa Viagem

**Identificação:** P-33

**Município:** Boa Viagem

**Coordenadas (UTM):** 422118/ 9438792

**Acesso/Localização:** Afloramento na BR-020, na localidade de Anafuê, Boa Viagem.

**Tipologia:** Seção

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Indiferenciado

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 240

**Potencial uso educativo:** 190

**Risco de Degradação:** 335

**Potencial uso turístico:** 170

**Descrição:** Geossítio representante dos anfibolitos pertencentes ao Complexo Máfico-Ultramáfico, produto do metamorfismo neoproterozoico sobre diques intrusivos de basaltos paleoproterozoicos. O anfibolito ocorre como corpos tabulares *boudinados*, intrusivos em biotita gnaiss fino. As porções de anfibolito se apresentam foliadas, com orientação mineral e dobras de tamanho centimétrico localizadas. A foliação no gnaiss está orientada na direção E-W, com mergulhos baixos para N e está associada a uma lineação mineral com caimento baixo para N, indicando movimento de topo para sul. Ambos os pacotes se encontram bastante alterados, com desenvolvimento de pedogênese em boa parte do afloramento.

**Referências:** Almeida, Parente e Arthaud (2007) e indicação de Afonso Almeida

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para o *boudin* de anfibolito. b) Detalhe do *boudin* de anfibolito, com destaque para a foliação do pacote.

**Nome do Geossítio:** Metagabro do Complexo Cruzeta

**Identificação:** P-55

**Município:** Boa Viagem

**Coordenadas (UTM):** 410710 / 9423134

**Acesso/Localização:** Geossítio localizado ao lado da BR-020, próximo à localidade de São Pedro, a sul de Boa Viagem.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Indiferenciado

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Mineralógico e Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 280

**Potencial uso educativo:** 230

**Risco de Degradação:** 295

**Potencial uso turístico:** 210

**Descrição:** Geossítio representante do Complexo Máfico-Ultramáfico do embasamento paleoproterozoico. O afloramento consiste de metagabro bastante deformado e alterado, intercalado com outras rochas básicas, com foliação de baixo ângulo bem marcada na direção NE-SW e lineação de estiramento mineral com caimento para NW, com movimento de topo para SE, provavelmente associado às zonas de cavalgamento paleoproterozoicas. Idades modelo Sm-Nd indicam valores entre 2,46 e 2,50 Ga.

**Referências:** Fetter (1999), Arthaud (2007) e indicação de Christiano Magini

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio representante do Complexo Máfico-Ultramáfico. b) Detalhe do metagabro com destaque para a foliação do pacote e para a direção da lineação de estiramento, indicada pela caneta.

**Nome do Geossítio:** Suíte Madalena

**Identificação:** P-58

**Município:** Madalena

**Coordenadas (UTM):** 436050 / 9462869

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado à beira da BR-020, ao lado do pequeno açude próximo à sede do município de Madalena

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Diorito e Gabros

**Interesse geológico principal:** Ígneo

**Interesse geológico secundário:** Geocronológico e Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 365

**Potencial uso educativo:** 300

**Risco de Degradação:** 205

**Potencial uso turístico:** 235

**Descrição:** Geossítio representante do batólito quartzo-diorítico paleoproterozoico, denominado de Suíte Madalena, integrante da Sequência Algodões-Choró. Datações U-Pb para esta Suíte indicam idades entre 2,15 e 2,30 Ga e análises Ar-Ar sugerem metamorfismo entre 744 e 766 Ma. O afloramento selecionado é formado por metatonalito de textura equigranular média a grossa, rico em biotita e hornblenda e com foliação sub-horizontal na direção NE-SW. Diques de diorito de granulação fina recortam o afloramento. Observa-se a presença de pequenos enclaves máficos e bandamento gnáissico localizado.

**Referências:** Costa *et al.* (2015), Martins (2000) e indicação de Christiano Magini

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para o dique máfico cortando a litologia principal. b) Detalhe do biotita-hornblenda ortognáisse com destaque para o enclave máfico e o contato concordante com o dique de diorito.

**Nome do Geossítio:** Micaxistos do Açude Choró-Limão

**Identificação:** P- 40

**Município:** Choró

**Coordenadas (UTM):** 484170 / 9465035

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado nas margens do açude Choró-Limão, com acesso pela rodovia CE-456

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Unidade Choró

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** Ecológico

**Valor científico:** 295

**Potencial uso educativo:** 215

**Risco de Degradação:** 190

**Potencial uso turístico:** 195

**Descrição:** Geossítio representante do conjunto metassedimentar do embasamento paleoproterozoico relacionado à Sequência Algodões-Choró. No local ocorrem diversos afloramentos de xistos com foliação de baixo ângulo na direção NW-SE e mergulho para NE, cortada por clivagem de crenulação de alto ângulo orientada NNE-SSW. Os afloramentos se encontram bem preservados, porém algumas porções se encontram encobertas pela vegetação.

**Referências:** Martins e Oliveira (2004) e indicação de Maria da Glória Motta Garcia

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítios de micaxistos. b) Detalhe do geossítio, com destaque para a foliação e crenulação do micaxisto.

**Nome do Geossítio:** Granada Xisto Quixeramobim

**Identificação:** P-48

**Município:** Quixeramobim

**Coordenadas (UTM):** 465286 / 9425522

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado na base do Açude Quixeramobim. O acesso ao embasamento do açude pode ser realizado a partir da primeira entrada à esquerda após a barragem da rodovia CE-060, no sentido oposto ao centro da cidade.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Quixeramobim

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** Ecológico

**Valor científico:** 295

**Potencial uso educativo:** 225

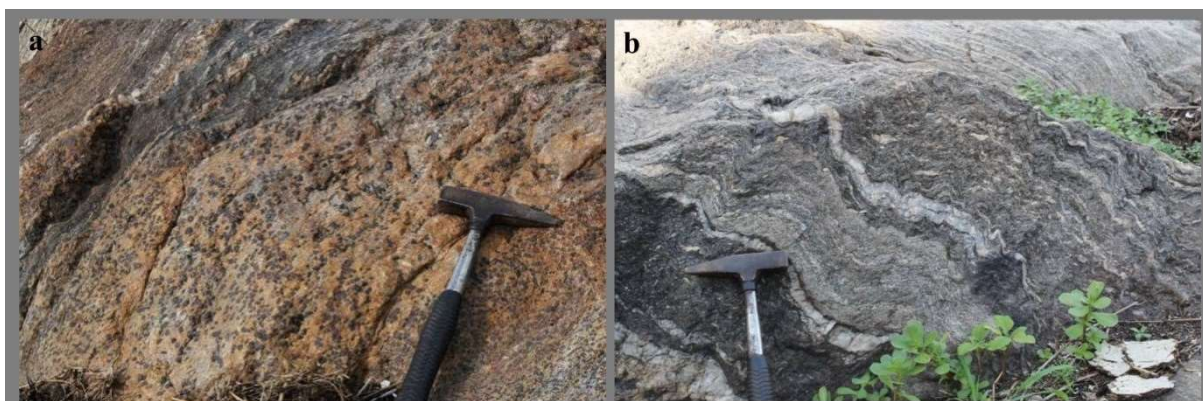
**Risco de Degradação:** 245

**Potencial uso turístico:** 220

**Descrição:** Geossítio representante do litotipo característico da Unidade Quixeramobim, com melhor exposição dos elementos estruturais e mineralógicos indicativos do grau metamórfico a que estas rochas foram submetidas. O afloramento é formado por um pacote de granada xisto rico em biotita, com porções de quartzito *boudinadas*. Em algumas porções observa-se a presença de porfiroblastos de cianita e de granada com tamanhos acima de 2 cm. Este pacote xistoso possui três conjuntos de eventos deformacionais: uma foliação subvertical na direção NNE-SSW; dobras intrafoliais e uma clivagem de crenulação posterior, afetando todo o pacote.

**Referências:** Arthaud *et al.* (1993) e indicação de Maria da Glória Motta Garcia

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Detalhe do afloramento com destaque para um bolsão de granada, bastante comum no pacote. b) Detalhe do afloramento com destaque para a clivagem de crenulação.

**Nome do Geossítio:** Megaxenólitos de Metassedimentos de Juatama **Identificação:** P-47

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 495195 / 9437893

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado atrás da estação elevatória de água do Distrito de Juatama, com acesso a partir da rodovia CE-368, entre os municípios de Quixadá e Quixeramobim.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Quixeramobim (Unidade Juatama)

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 265

**Potencial uso educativo:** 280

**Risco de Degradação:** 110

**Potencial uso turístico:** 245

**Descrição:** Geossítio representante de um cinturão de rochas gnáissico-migmatíticas relacionadas aos batólitos de Quixadá e Quixeramobim e que preservam como xenólitos parte do pacote metassedimentar encaixante. O ponto selecionado é formado por um gnaiss cinza, com porções migmatizadas e xenólitos de metassedimentos (rochas calcissilicáticas, micaxistos e/ou paragnaisses anfibolíticos). Os xenólitos apresentam tamanhos variados, desde poucos centímetros até pouco mais de um metro. Alguns xenólitos encontram-se *boudinados*, porém, com a foliação anterior preservada.

**Referências:** Almeida (1995) e indicação de Christiano Magini.

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto do gnaiss migmatítico (cinza) com xenólito de gnaiss anfibolítico ao centro. b) Detalhe do geossítio onde os processos de migmatização afetaram tanto o gnaiss como o xenólito.

**Nome do Geossítio:** Cianita-Sillimanita Gnaiss de Itatira

**Identificação:** P-63

**Município:** Itatira

**Coordenadas (UTM):** 428736 / 9494692

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em corte da rodovia CE-168, entre o distrito de Lagoa do Mato e a sede do município de Itatira.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Mineralógico e Geodinâmico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 305

**Potencial uso educativo:** 215

**Risco de Degradação:** 300

**Potencial uso turístico:** 200

**Descrição:** Geossítio representante da principal litologia das *nappes* da região de Boa Viagem e Itatira com registro de metamorfismo de alta pressão. O ponto selecionado é um gnaiss finamente bandado, com foliação de baixo ângulo na direção NNE-WSW, rico em sillimanita, cianita e granada, além de rutilo e plagioclásio, com lineação de estiramento mineral sub-horizontal com caimento para SW e movimento de topo E-NE. Os cristais de sillimanita são contemporâneos à formação da *nappe* e estão concordantes à lineação. Foram encontradas idades entre 630 e 600 Ma e condições de pressão e temperatura de 8,2 Kbar e 627°C, respectivamente.

**Referências:** Castro (2004), Garcia *et al.* (2014) e Garcia e Arthaud (2004)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para a foliação subvertical. b) Detalhe do geossítio, onde é possível observar os cristais de cianita, sillimanita e granada

**Nome do Geossítio:** Gruta Casa de Pedra

**Identificação:** P-71

**Município:** Madalena

**Coordenadas (UTM):** 422050 / 9475555

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado ao lado da CE-163 (carroçável), a partir do distrito de Lagoa do Mato, Itatira, sentido Boa Viagem

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Resolução CONAMA nº 347/2004, Decreto Federal nº 6.640/2008 e Lei de Proteção ao Patrimônio Histórico Artístico Nacional (Decreto-Lei nº 25/1937)

**Unidade Geológica:** Unidade Independência, Calcários

**Interesse geológico principal:** Cárstico

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** Arqueológico, Cultural e Ecológico

**Valor científico:** 260

**Potencial uso educativo:** 295

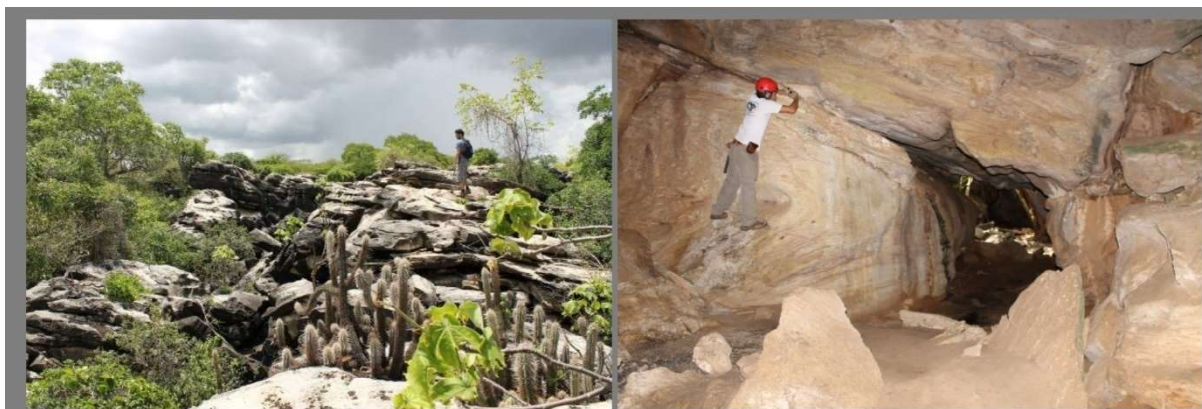
**Risco de Degradação:** 230

**Potencial uso turístico:** 275

**Descrição:** Geossítio representante das formações cársticas em lentes carbonáticas no DCC. O afloramento consiste em um conjunto de cavidades desenvolvidas sobre mármores impuros, intercalados com xistos e quartzitos, em que é possível observar estruturas primárias de deposição preservadas (laminações cruzadas e plano-paralelas) e foliação de baixo ângulo. O relevo cárstico que configura a gruta é marcado por feições de dissolução e controle estrutural na formação dos salões, sobretudo pela presença de dobras recumbentes e isoclinais.

**Referências:** Indicação de César U. Veríssimo

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral da porção externa da gruta, com destaque para as feições de dissolução. b) Vista de uma das dobras isoclinais na área interna da gruta, onde é possível observar a influência do controle estrutural no processo de dissolução da rocha



**Nome do Geossítio:** Furna dos Ossos

**Identificação:** P-70

**Município:** Tejuçuoca

**Coordenadas (UTM):** 426387 / 9554602

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado no Parque Ecológico Furna dos Ossos, com acesso pela rodovia CE-168, a sul da sede municipal de Tejuçuoca.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** : Lei Municipal de Tejuçuoca s/n, Resolução CONAMA nº 347/2004 e Decreto Federal nº 6.640/2008.

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência

**Interesse geológico principal:** Cárstico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** Cultural e Ecológico

**Valor científico:** 265

**Potencial uso educativo:** 275

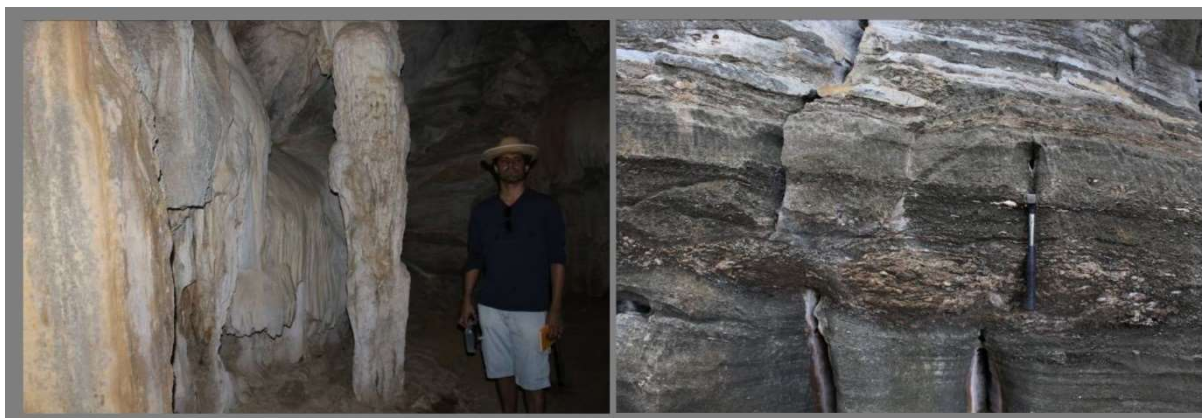
**Risco de Degradação:** 245

**Potencial uso turístico:** 255

**Descrição:** Geossítio representante dos terrenos cársticos desenvolvidos sobre lentes carbonáticas das sequências supracrustais do DCC e compreende diversas cavidades com registros de processos endocársticos. De modo geral, o geossítio é formado por metacalcário margoso, com bandamento composicional entre porções mais puras, de estrutura maciça e textura granoblástica, e outras porções impuras, com maior influência de material terrígeno e desenvolvimento de xistosidade. Algumas porções encontram-se deformadas, com presença de *boudinagem* e dobras. Apresenta foliação de baixo ângulo na direção NE-SW.

**Referências:** Não foram encontradas referências para este ponto até o momento.

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Detalhe interno de umas das cavidades (Furna do Sino), com destaque para os espeleotemas (cortina de escorrimento e coluna). b) Detalhe da parede externa de uma das cavidades, com destaque para o bandamento do metacalcário.

**Nome do Geossítio:** Biotita Monzogranito do Camará

**Identificação:** P-02

**Município:** Itapipoca

**Coordenadas (UTM):** 429038 / 9601659

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em corte da rodovia CE-168, na Ladeira do Camará, entre os municípios de Itapagé e Itapipoca

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Ígneo

**Interesse geológico secundário:** -

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 280

**Potencial uso educativo:** 235

**Risco de Degradação:** 265

**Potencial uso turístico:** 250

**Descrição:** Geossítio representante do litotipo ígneo mais abundante da Suíte Intrusiva Santa Quitéria, formado no estágio de magmatismo maduro do arco, com idades U-Pb de aproximadamente 638 Ma. O afloramento situa-se em corte de estrada de cerca de 10 metros de biotita monzogranito porfirítico acinzentado, parcialmente deformado, com enclaves máficos e intrusão de material pegmatítico rico em K-feldspato e biotita.

**Referências:** Araújo *et al.* (2014)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Vista geral do afloramento, com marcas de corte para ampliação da estrada. b) Detalhe da biotita monzogranito porfirítico, com destaque para os minerais de feldspato

**Nome do Geossítio:** Hornblenda-Biotita Metatexito de Tejuçuoca      **Identificação:** P-03

**Município:** Tejuçuoca

**Coordenadas (UTM):** 441431 / 9577900

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em estrada carroçável com acesso a partir do distrito Iratinga em Itapagé, ou a partir da CE-168.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 220

**Potencial uso educativo:** 230

**Risco de Degradação:** 235

**Potencial uso turístico:** 200

**Descrição:** Geossítio representante do estágio de magmatismo juvenil do AMSQ, com idades que sugerem o início do desenvolvimento do arco em período anterior ao que estava proposto até o momento. O afloramento é formado por um lajedo de hornblenda-biotita metatexito acinzentado, finamente foliado, com porções de neossoma boudinados e paleossoma de composição tonalítica. Observa-se a presença de veios pegmatíticos discordantes e feições estromáticas. O paleossoma apresenta idades U-Pb de 833 Ma.

**Referências:** Araújo *et al.* (2014)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do afloramento de hornblenda biotita metatexito. b) Detalhe do hornblenda biotita com destaque para os veios pegmatíticos discordantes a foliação.

**Nome do Geossítio:** Quartzo Diorito de Taperuaba

**Identificação:** P-18

**Município:** Sobral

**Coordenadas (UTM):** 381519 / 9560589

**Acesso/Localização:** Afloramento à beira da CE-179, sentido Tejuçuoca, após cruzamento com a CE-362

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Ígneo

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 260

**Potencial uso educativo:** 240

**Risco de Degradação:** 205

**Potencial uso turístico:** 255

**Descrição:** Geossítio representante do estágio de magmatismo de arco maduro, com composição ígnea que permite caracterizar processos de hibridização magmática com influência de materiais crustais neoproterozoicos. O afloramento é formado por granito cinza, com porções milonitizadas, veios de quartzo, enclaves máficos concordantes com a deformação, além de fraturas perpendiculares a lineação de estiramento. Classificado como quartzo-diorito, apresenta idades U-Pb de aproximadamente 648 Ma.

**Referências:** Araújo *et al.* (2014)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: Aspecto geral do afloramento de quartzo-diorito. b) Detalhe do afloramento com destaque para fraturas perpendiculares a lineação principal da rocha

**Nome do Geossítio:** Migmatitos Lagoa Caiçara

**Identificação:** P- 23

**Município:** Santa Quitéria

**Coordenadas (UTM):** 408594 / 9528775

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado a beira da CE-357, entre os municípios de Santa Quitéria e Canindé.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Geocronológico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 210

**Potencial uso educativo:** 230

**Risco de Degradação:** 265

**Potencial uso turístico:** 220

**Descrição:** Geossítio formado por afloramentos de biotita-hornblenda metatexitos e biotita-diatexitos, representantes do período de metamorfismo e anatexia do AMSQ sobre as seqüências supracrustais neoproterozoicas. Os litotipos apresentam-se bastante homogêneos com veios pegmatíticos localizados. Apresenta foliação de baixo ângulo na direção NNE-SSW e lineação de estiramento mineral também de baixo ângulo e caimento para SW. Idades U-Pb indicam o período de anatexia e formação dos migmatitos entre 600 e 630 Ma.

**Referências:** Castro (2004)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto do afloramento com predomínio de biotita- hornblenda metatexitos. b) Aspecto do afloramento com predomínio de biotita-diatexitos.

**Nome do Geossítio:** Biotita Diatexito de Santa Quitéria

**Identificação:** P-24

**Município:** Santa Quitéria

**Coordenadas (UTM):** 388866 / 9524241

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado a beira da rodovia CE-357, entre os municípios de Santa Quitéria e Canindé.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Geocronológico e Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 285

**Potencial uso educativo:** 240

**Risco de Degradação:** 265

**Potencial uso turístico:** 220

**Descrição:** Geossítio representante da fase final do magmatismo do AMSQ. O afloramento é formado por biotita diatexito com *boudins* granodioríticos, ambos cortados por falhas sub-verticais destrais, com estrias de movimentação entre os blocos. Apresenta melanossomas de biotita, veios pegmatíticos e dobras intrafoliais. A porção granodiorítica apresenta idades U-Pb de 892 Ma, relacionadas ao início dos processos magmáticos do arco. O diatexito apresenta idades em torno de 618 Ma relacionadas ao período em que predominavam processos de metamorfismo e anatexia sobre as rochas ígneas do arco.

**Referências:** Araújo *et al.* (2014).

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral da biotita diatexito, com destaque para os boudins granodioríticos deformados, com falha subvertical cortando o pacote. b) No detalhe, observa-se as relações de contato entre a biotita diatexito, o material granodiorítico e o veio pegmatítico; além de fratura preenchida com material quartzo-feldspático.

**Nome do Geossítio:** Retroeclogitos Fazenda Ipueiras

**Identificação:** P-12

**Município:** Santana do Acaraú

**Coordenadas (UTM):** 374635 / 9595921

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado na lateral de estrada carroçável com acesso a partir da CE-240

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico / Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 250

**Potencial uso educativo:** 195

**Risco de Degradação:** 280

**Potencial uso turístico:** 175

**Descrição:** Geossítio representante dos retroeclogitos da Unidade Canindé resultantes de metamorfismo de alta pressão em rochas máficas, formados em ambiente de subducção de crosta oceânica, com posterior exumação. O afloramento é composto por cinco conjuntos de blocos e duas pequenas lajes de granada-anfibolitos e clinopiroxênio-granada anfibolitos, com foliação de alto ângulo na direção NNE-SSW. Os blocos se encontram bastante fraturados e moderadamente intemperizados. Datações U-Pb indicam que essas rochas foram formadas há aproximadamente 1,5 Ga, sendo que o metamorfismo ocorreu pelo menos entre 725 e 618 Ma.

**Referências:** Amaral *et al.* (2011), Amaral *et al.* (2015), Ancelmi *et al.* (2013), Santos *et al.* (2009) e Santos *et al.* (2015)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio demonstrando a descontinuidade do afloramento, com espaçamento entre as diversas proeminências. b) Detalhe do granada anfibolito com destaque para a foliação da rocha.

**Nome do Geossítio:** Kinzigito Cachoeira dos Loretos

**Identificação:** P-14

**Município:** Forquilha

**Coordenadas (UTM):** 373254 / 9580705

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado na lateral da estrada acesso a sede da Fazenda Cachoeira dos Loretos, a partir da BR-222.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico e Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 200

**Potencial uso educativo:** 225

**Risco de Degradação:** 225

**Potencial uso turístico:** 205

**Descrição:** Geossítio representante das rochas encaixantes dos retroeclogitos máficos da Unidade Canindé, resultantes de metamorfismo de alta pressão oriundos de subducção de crosta oceânica, com posterior exumação. O afloramento é composto por blocos e lajes de kinzigito migmatítico com cristais de granada centimétricos e foliação de baixo ângulo. A cristalização da rocha ocorreu entre 1,5 e 1,6 Ma e o metamorfismo em 613 Ma. Estudos indicam condições de pressão e temperatura de 13 Kbar e 780°C, respectivamente.

**Referências:** Amaral *et al.* (2011), Amaral *et al.* (2015), Ancelmi *et al.* (2013), Santos *et al.* (2009) e Santos *et al.* (2015)

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do lajedo de kinzigito migmatítico. b) Detalhe do kinzigito, com destaque para os cristais de granada



**Nome do Geossítio:** Sequência de Alta Pressão Fazenda Cabeça de Touro **Identificação:**P-16

**Município:** Forquilha

**Coordenadas (UTM):** 373011 / 9575841

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em estrada carroçável a esquerda da BR-222 (sentido Sobral)

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico / Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 280

**Potencial uso educativo:** 180

**Risco de Degradação:** 300

**Potencial uso turístico:** 160

**Descrição:** Geossítio representante do metamorfismo de alta pressão nas rochas máficas da Unidade Independência, com posterior exumação. Além da presença de rocha em condições de retroeclogito, o geossítio apresenta relação com as rochas encaixantes. O afloramento é formado por uma sequência de rochas calcissilicáticas, granada-anfibolitos e gnaisses encaixantes. Dados geocronológicos indicam que o metamorfismo dessas rochas ocorreu em torno de 550 Ma, em condições de pressão e temperatura acima de 17 Kbar e 770°C, respectivamente.

**Referências:** Amaral (2010), Amaral *et al.* (2015) e Santos *et al.* (2015)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto das rochas calcissilicáticas que compõe a sequência com anfibolitos e gnaisses. b) Aspecto dos anfibolitos em fácies retroeclogito, que compõem a sequência com calcissilicáticas e gnaisses.

**Nome do Geossítio:** Granada-Clinopiroxênio Anfíbolito Fazenda Juazeiro **Identificação:** P- 17

**Município:** P- 17

**Coordenadas (UTM):** 371929 / 9570581

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em estrada carroçável a sudeste de Forquilha, com acesso pela CE-362.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico / Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 280

**Potencial uso educativo:** 165

**Risco de Degradação:** 220

**Potencial uso turístico:** 155

**Descrição:** Geossítio representante do metamorfismo de alta pressão (eclogítico) nas rochas máficas da Unidade Independência, com posterior exumação e condições de retrometamorfismo. O afloramento é formado por blocos *in situ* de granada-clinopiroxênio anfíbolito em meio à biotita ortognaisse encaixante. O gnaisse apresenta-se bastante deformado, com porções migmatizadas. Cristais de coesita foram identificados nos anfíbolitos, reafirmando as condições metamórficas de alta pressão. Datações U-Pb indicam idades próximas a 2,1 Ga para a cristalização do ortognaisse e 615 Ma para os granada-clinopiroxênio anfíbolitos.

**Referências:** Amaral *et al.* (2015), Santos *et al.* (2009), Santos *et al.* (2015)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do ortognaisse migmatizado, encaixante do granada-clinopiroxênio anfíbolito. b) Detalhe do granada clinopiroxênio anfíbolito, em condições de retroeclogito.

**Nome do Geossítio:** Granada-anfibolitos de Lagoa do Mato **Identificação:** P-60

**Município:** Itaitira **Coordenadas (UTM):** 423153 / 9482966

**Acesso/Localização:** Afloramento localiza-se 3 quilômetros ao sul de Lagoa do Mato, na primeira entrada a direita da CE-168.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico, Mineralógico e Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 300

**Potencial uso educativo:** 210

**Risco de Degradação:** 305

**Potencial uso turístico:** 190

**Descrição:** Geossítio representante do metamorfismo de alta pressão do lado leste do Arco Magmático de Santa Quitéria. O afloramento é formado por *boudins* métricos de granada-anfibolito dispostos em biotita gnaiss. Observa-se a presença de coroas de plagioclásio ao redor dos cristais de granadas nos anfibolitos, configurando condições de retrometamorfismo (retroeclogito), em que foram identificadas pressão e temperatura entre 16-17 Kbar e 750°C, respectivamente. A biotita gnaiss encaixante apresenta foliação irregular, com aspecto radial ao redor dos *boudins*, formando pequenos domos. Porções félsicas de composição granítica e pegmatítica, ricas em quartzo e feldspato se distribuem ao longo do afloramento, sendo possível encontrar pequenos bolsões de minerais micáceos.

**Referências:** Garcia e Arthaud (2004)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para *boudin* de granada anfibolito em meio ao pacote de gnaisses encaixantes. b) Detalhe do granada anfibolito, onde é possível observar as coroas de plagioclásio ao redor da granada

**Nome do Geossítio:** Enderbitos de Alto Feliz

**Identificação:** P-66

**Município:** Cariré

**Coordenadas (UTM):** 329107 / 9566993

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em área ao lado da CE-253, a oeste de Cariré.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Granulitos

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico, Mineralógico e Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 260

**Potencial uso educativo:** 225

**Risco de Degradação:** 205

**Potencial uso turístico:** 200

**Descrição:** Geossítio representante do metamorfismo de alto grau em fácies granulito, que atingiu a porção noroeste do Domínio Ceará Central durante o Neoproterozoico. O afloramento é formado por um enderbito com cristais de ortopiroxênio orientados, com foliação de alto ângulo na direção NNE-SSW, cortado por um dique de clinopiroxênio-granada anfíbolito com direção N60, com aproximadamente 2 metros de espessura, afetado por família de fraturas com direção N130. Dados geocronológicos indicam 2,0 Ga como idade do enderbito e 542 Ma para o metamorfismo em fácies granulito.

**Referências:** Amaral et. al. (2012)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do enderbito cortado por dique de anfíbolito (região central). b) Detalhe do afloramento, com destaque para os cristais orientados de ortopiroxênio.

**Nome do Geossítio:** Granulitos Bandados de Apuiarés

**Identificação:** P-68

**Município:** Apuiarés

**Coordenadas (UTM):** 477473 / 9567377

**Acesso/Localização:** No município de Pentecoste, seguir pela rodovia CE-162, sentido Paramoti, até o bairro São José, em Apuiarés. Afloramento localizado dentro de uma pequena plantação, ao lado da caixa d'água.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico e Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 290

**Potencial uso educativo:** 175

**Risco de Degradação:** 280

**Potencial uso turístico:** 160

**Descrição:** Geossítio representante do metamorfismo de alta temperatura em fácies granulito, que atingiu a porção nordeste do Domínio Ceará Central. O afloramento é formado por diversos blocos *in situ* de granulitos máficos bandados, com cristais de ortopiroxênio bastante desenvolvidos e foliação de alto ângulo na direção ENE-WNW. Dados geocronológicos apontam idades de 2.1 Ga para a cristalização da rocha e cerca de 600 Ma para o metamorfismo em fácies granulito. Próximo ao geossítio ocorre um afloramento de gnaisses enriquecidos em magnetita com porções de rochas calcissilicáticas.

**Referências:** Amaral e Santos (2008) e Garcia *et al.* (2014)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, formado por vários blocos *in situ*. Detalhe do granulito, com destaque para o aspecto bandado e para os cristais de ortopiroxênio.

**Nome do Geossítio:** Tectonito de Independência

**Identificação:** P-29

**Município:** Independência

**Coordenadas (UTM):** 347021/ 9407463

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado as margens da rodovia BR-226, entre os municípios de Crateús e Independência.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará / Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 235

**Potencial uso educativo:** 215

**Risco de Degradação:** 300

**Potencial uso turístico:** 205

**Descrição:** Geossítio representante do registro tectônico transcorrente sinistral da Zona de Cisalhamento de Tauá. O afloramento é formado por gnaiss granítico/diorítico com foliação milonítica de alto ângulo na direção NNW-SSW e forte lineação de estiramento mineral, caracterizando tectonito tipo L. Apresenta porfiroclastos com feições sigmoidais, *boudins* assimétricos e planos com indicação de movimento sinistral.

**Referências:** Fetter (1999) e Neves (1991)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto do afloramento, com destaque para as feições miloníticas, estiramento mineral e *boudins* das porções quartzo-feldspáticas. b) Detalhe para os porfiroclastos com feições sigmoidais e indicação de cinemática sinistral.

**Nome do Geossítio:** Gnaiss Milonítico de Quixadá

**Identificação:** P-39

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 513960 / 9452548

**Acesso/Localização:** No município de Quixadá, o afloramento está localizado em pedreira ao lado direito da rodovia CE-265, sentido Ibicuitinga.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Unidade Mombaça (Granitoides)

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** Econômico

**Valor científico:** 265

**Potencial uso educativo:** 220

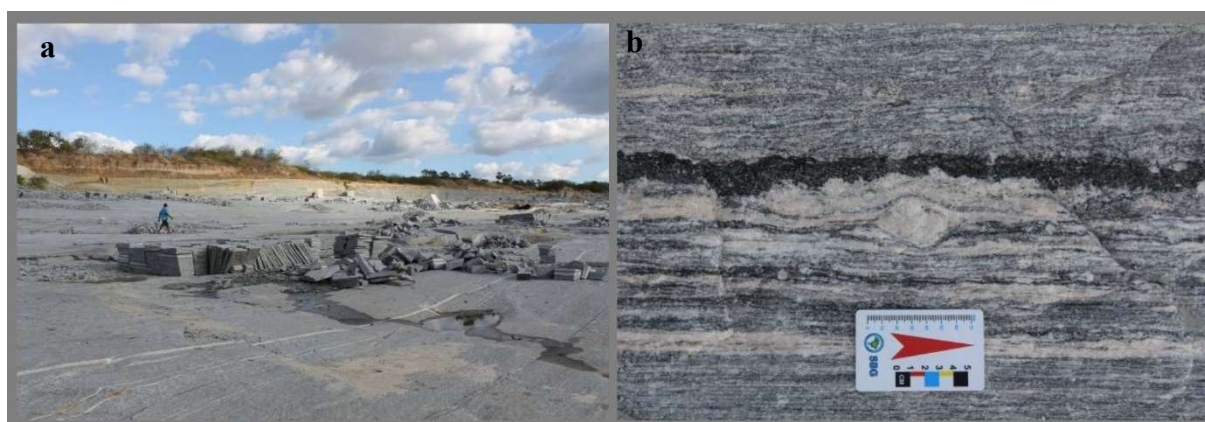
**Risco de Degradação:** 245

**Potencial uso turístico:** 210

**Descrição:** Ótima exposição dos efeitos da tectônica transcorrente dextral referente à Zona de Cisalhamento Senador Pompeu afetando rochas do pacote paleoproterozoico. O geossítio é formado por ortognaiss milonítico cinza bastante homogêneo, com bandamento deformacional e xenólitos máficos altamente estirados. Fendas de tração sigmoidais e porfiroclastos assimétricos indicam movimento dextral. Localmente ocorrem faixas de ultramilonitos com forte estiramento mineral e foliação milonítica de alto ângulo na direção NE-SW. A forte deformação obliterou as estruturas pretéritas.

**Referências:** Indicação de Maria da Glória Motta Garcia

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para a extensão e homogeneidade do pacote. b) Detalhe do geossítio com destaque para a foliação milonítica e presença de indicador cinemático

**Nome do Geossítio:** Ortognaisses Miloníticos de Umirim

**Identificação:** P-42

**Município:** Umirim

**Coordenadas (UTM):** 460416 / 9593100

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado a margem da rodovia BR-222, próximo a uma caixa d'água de alvenaria.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 225

**Potencial uso educativo:** 240

**Risco de Degradação:** 260

**Potencial uso turístico:** 200

**Descrição:** Geossítio representante dos esforços tectônicos da Zona de Cisalhamento Umirim. O afloramento é formado por *augen* ortognaisse parcialmente migmatizado, com porções de leucogranito bastante grosseiro. Apresenta pequenos bolsões de minerais máficos (anfíbólio) e separação parcial do leucossoma e melanossoma. Ocorre como um lajedo, com um conjunto de quatro blocos *in situ* proeminentes com foliação sub-vertical na direção NE-SW. Algumas porções apresentam concentrações de muscovita e cristais de ortoclásio bem desenvolvidos. Há presença de dobras pitigmáticas. Os blocos mais próximos à caixa d'água apresentam-se com maiores concentrações de biotita.

**Referências:** Zincone (2011)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do afloramento, com cinco promontórios de gnaisses verticalizados. b) Detalhe da foliação subvertical e das porções migmatizadas do gnaisse



**Nome do Geossítio:** Cataclasitos da Falha Rio Groaíras **Identificação:** P-22

**Município:** Santa Quitéria **Coordenadas (UTM):** 374772 / 9545892

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em corte da rodovia CE-179, sentido Santa Quitéria, cerca de 1 km após o Rio Groaíras

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Mineralógico e Geomorfológico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 255

**Potencial uso educativo:** 200

**Risco de Degradação:** 370

**Potencial uso turístico:** 160

**Descrição:** Geossítio representante dos esforços tectônicos rúpteis da Falha Rio Groaíras. Apresenta quartzitos com feições cataclásticas, intercalados com material xistoso com foliação milonítica e presença de pseudotaquilitos. Neste ponto também é possível observar o deslocamento sinistral das porções norte e sul da Serra do Pajé, originado pela ação da falha.

**Referências:** Indicação de Sebastián Gonzáles Chiozza e Otaciel de Oliveira Melo

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto do geossítio com destaque para o grau de alteração favorecido pelas feições cataclásticas. b) Detalhe com geossítio com destaque para a presença de pseudotaquilito em meio ao pacote.

**Nome do Geossítio:** Evidências de Cavalgamento de Pedra Branca **Identificação:** P- 31

**Município:** Pedra Branca

**Coordenadas (UTM):** 405497/ 9399842

**Acesso/Localização:** Afloramento em corte da rodovia CE-226, entre as localidades de Extrema e Lagoa Velha.

**Tipologia:** Seção

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Indiferenciado

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Ausente

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 305

**Potencial uso educativo:** 205

**Risco de Degradação:** 370

**Potencial uso turístico:** 185

**Descrição:** Geossítio representante do tectonismo de baixo ângulo que atingiu o embasamento do Domínio Ceará Central durante o Paleoproterozoico. Apresenta seção característica da Unidade Pedra Branca, com intercalações entre gnaisses, anfíbolitos e xistos. O ortogneisse apresenta foliação de baixo ângulo na direção NNE-SSW e lineação de estiramento mineral com caimento para SSE e movimento de topo para NNW. Porções anfíbolíticas *boudinadas*, *Pods* e dobras intrafoliais e assimétricas são comumente observadas. O geossítio está moderadamente alterado, sendo que porção xistosa já apresenta sinais avançados de intemperismo, com desmoronamentos localizados.

**Referências:** Caby e Arthaud (1986), Almeida; Parente e Arthaud (2007) e Hamelak (2008)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para a estrutura de cavalgamento, indicando movimento para oeste. b) Detalhe do geossítio, com destaque para o bandamento gnáissico e presença de *Pods* de anfíbolito.

**Nome do Geossítio:** *Nappe Itatira*

**Identificação:** P-62

**Município:** Santa Quitéria

**Coordenadas (UTM):** 414960 / 9492747

**Acesso/Localização:** Ponto localizado em estrada carroçável a partir do distrito de Lagoa do Mato, sentido Itataia.

**Tipologia:** Mirante

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº. 12.651/2012), para o ponto observado

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Geomorfológico

**Outros elementos de interesse:** Ecológico

**Valor científico:** 305

**Potencial uso educativo:** 210

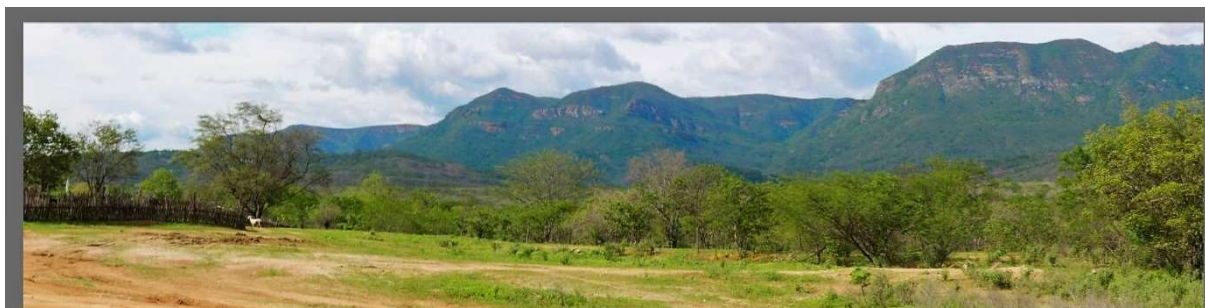
**Risco de Degradação:** 160

**Potencial uso turístico:** 200

**Descrição:** Geossítio representante dos sistemas de *nappes* que se desenvolveram no DCC em resposta a esforços tectônicos compressivos neoproterozoicos. O geossítio constitui-se de ponto mirante para observação e da área que representa a *nappe* Itatira. Esta *nappe* é resultante do empilhamento das sequências supracrustais do Complexo Ceará e com movimento de topo para E-NE. Topograficamente se destaca como serrote conhecido como Serra do Céu, formado predominantemente por quartzitos.

**Referências:** Caby e Arthaud (1986) e Garcia e Arthaud (2004)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: Aspecto geral da face sul da Serra do Céu, representante do sistema de *nappes* da região de Itatira e Santa Quitéria.

**Nome do Geossítio:** Cromitito de Tróia

**Identificação:** P-75

**Município:** Pedra Branca

**Coordenadas (UTM):** 402131 / 9386844

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado próximo a estrada carroçável, na localidade de Cedro, com acesso a partir da BR-226.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Alcalina Peraluminosa Cedro

**Interesse geológico principal:** Mineralógico

**Interesse geológico secundário:** Geodinâmico

**Outros elementos de interesse:** Econômico

**Valor científico:** 260

**Potencial uso educativo:** 165

**Risco de Degradação:** 320

**Potencial uso turístico:** 150

**Descrição:** Geossítio representante das ocorrências de mineralizações de cromo formadas a partir do metamorfismo de rochas máficas-ultramáficas paleoproterozoicas. Os cromititos ocorrem como corpos lenticulares e descontínuos, dispersos em camadas ricas em sílica, principalmente serpentinitos/dunitos bastante alterados. Datações U-Pb indicam que a formação destes corpos máficos ocorreu em torno de 2,04 Ga, com atuação do metamorfismo há aproximadamente 749 Ma.

**Referências:** Costa *et al.* (2014), Costa *et al.* (2015)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para a camada de cromitito em meio ao pacote de serpentinito bastante alterado. b) Detalhe de um cromitito bandado com uma camada rica em silicato (actinolita/tremolita). Fotografias de Felipe G. Costa

**Nome do Geossítio:** Gonditos de Madalena

**Identificação:** P-59

**Município:** Madalena

**Coordenadas (UTM):** 436899 / 9464335

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado nas margens da rodovia BR-020, a nordeste da sede do município de Madalena.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Unidade Algodões, Anfibolitos e Anfibólitos Gnaisses

**Interesse geológico principal:** Mineralógico

**Interesse geológico secundário:** Geodinâmico

**Outros elementos de interesse:** Econômico

**Valor científico:** 200

**Potencial uso educativo:** 205

**Risco de Degradação:** 370

**Potencial uso turístico:** 185

**Descrição:** Geossítio representante das ocorrências de mineralizações de manganês formadas durante o Paleoproterozoico como resultado do metamorfismo em fácies anfibolito de rochas sedimentares ricas em minerais de manganês, principalmente espessartita. O afloramento é formado por *chert* bem foliado, intercalado a camadas ricas em manganês. Próximos ao local existem outros afloramentos com as mesmas características.

**Referências:** Almeida, Parente e Arthaud (2007) e indicação de Christiano Magini.

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, parcialmente pintado. b) Detalhe do geossítio com destaque para a foliação.

**Nome do Geossítio:** Formação Ferrífera Bandada de Boa Viagem      **Identificação:** P-56

**Município:** Boa Viagem

**Coordenadas (UTM):** 411091 / 9419581

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado a sul da sede do município de Boa Viagem, na localidade de Curupati, com acesso por estrada carroçável a partir da BR-020.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Indiferenciado

**Interesse geológico principal:** Mineralógico

**Interesse geológico secundário:** Geodinâmico

**Outros elementos de interesse:** Econômico

**Valor científico:** 245

**Potencial uso educativo:** 185

**Risco de Degradação:** 300

**Potencial uso turístico:** 170

**Descrição:** Geossítio representante das Formações Ferríferas Bandadas do Complexo Cruzeta. Estes BIFs ocorrem como lentes nos biotita-muscovita gnaisses do embasamento e apresentam idades entre 2,7 e 2,8 Ga. O afloramento é formado por diversos blocos angulosos *in situ*, de coloração preta a avermelhada, com intercalação entre micro bandamentos de hematita e silicatos e porções intensamente dobradas. Destacam-se na paisagem como um pequeno serrote de crista alongada na direção NE-SW.

**Referências:** Almeida, Parente e Arthaud (2007), Veríssimo *et al.* (2009)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítios formado por blocos *in situ*. b). Detalhe do minério de ferro com micro bandamentos e micro dobras. Fotografias de Christiano Magini

**Nome do Geossítio:** Escarnitos de Paraíso

**Identificação:** P-27

**Município:** Catunda

**Coordenadas (UTM):** 366527 / 9498631

**Acesso/Localização:** O afloramento está localizado na localidade Paraíso com acesso a partir do município de Santa Quitéria, seguindo rodovia CE-176 sentido Tamboril.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Mineralógico

**Interesse geológico secundário:** Geodinâmico

**Outros elementos de interesse:** Econômico

**Valor científico:** 245

**Potencial uso educativo:** 170

**Risco de Degradação:** 205

**Potencial uso turístico:** 150

**Descrição:** Geossítio representante dos depósitos de escarnitos mineralizados em ferro e cobre que configuram como a primeira descrição de mineralização metálica associada ao Arco Magmático de Santa Quitéria. Estas mineralizações ocorrem como sulfetos de cobre e óxidos de ferro, sobretudo magnetita. O afloramento é composto por escarnitos ricos em granada e clinopiroxênio e recortados por veios e diques quartzo-feldspáticos. Blocos de *gossans* de hidróxido de ferro de tamanhos variados estão distribuídos nas adjacências do afloramento.

**Referências:** Parente *et al.* (2015)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio de *skarn* com mineralização de ferro. b) Detalhe do afloramento de *skarn*. Fotografias de Clóvis Vaz Parente.

**Nome do Geossítio:** Colofanito de Itataia

**Identificação:** P-74

**Município:** Santa Quitéria

**Coordenadas (UTM):** 414724 / 9495816

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em área de mina de Itataia, com acesso por estrada carroçável a partir da rodovia CE-168, na altura de Lagoa do Mato.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência, Calcários

**Interesse geológico principal:** Mineralógico

**Interesse geológico secundário:** Geodinâmico

**Outros elementos de interesse:** Econômico

**Valor científico:** 285

**Potencial uso educativo:** 195

**Risco de Degradação:** 280

**Potencial uso turístico:** 170

**Descrição:** Geossítio representante do depósito fósforo-uranífero de Itataia, um dos principais depósitos de urânio do Brasil. O afloramento ocorre como *stockwork* de colofanito em falha de escarpa formada por mármores e rochas calcissilicáticas. Idades próximas a 590 Ma foram obtidas em afloramentos próximos do geossítio, indicando evento hidrotermal associado à mineralização do urânio na região.

**Referências:** Veríssimo *et al.* (2016)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do afloramento localizado no limite norte da escarpa do Serrote da Igreja, área externa da mina de Itataia. Detalhe para a falha na rocha encaixante do colofanito. b) Detalhe do afloramento de colofanito dentro de uma das galerias da mina de Itataia. Fotografias de César U. Veríssimo.



**Nome do Geossítio:** Granito Quixeramobim

**Identificação:** P-37

**Município:** Quixeramobim

**Coordenadas (UTM):** 469420 / 9423719

**Acesso/Localização:** No município de Quixeramobim, afloramento localizado em estrada carroçável a partir da CE-166 no Bairro Maravilha.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Calcialcalina de alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Ígneo

**Interesse geológico secundário:** Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 265

**Potencial uso educativo:** 265

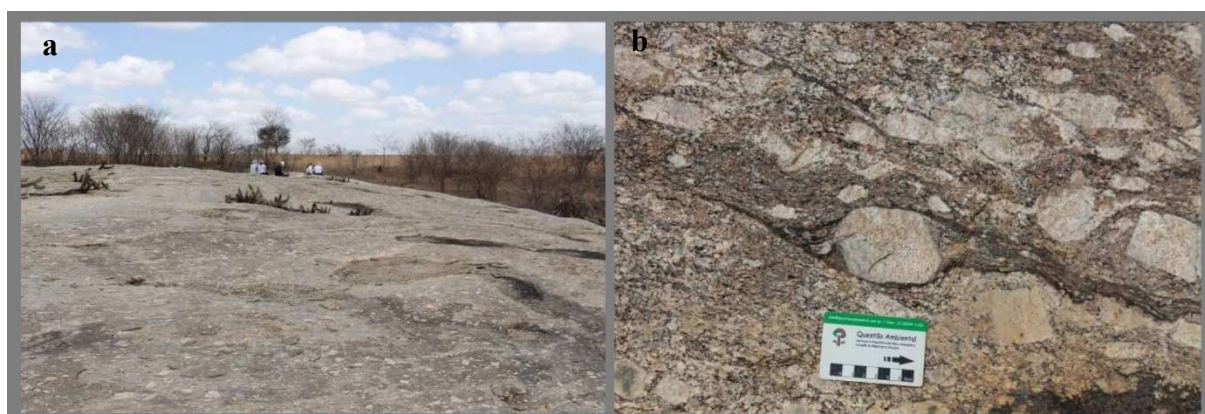
**Risco de Degradação:** 195

**Potencial uso turístico:** 210

**Descrição:** O Granito Quixeramobim tem sua origem nas fases finais da orogenia Brasileira, associada às mega zonas de cisalhamento, principalmente as ZC Senador Pompeu e Quixeramobim. Apresenta-se como um batólito de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>, alongado na direção NE-SW, com idades próximas de 587 Ma (U-Pb). Sua composição varia entre granodioritos calci-alcálicos, dioritos, granitos e quartzo-dioritos. O afloramento selecionado para geossítio é um granito cinza porfirítico, com fenocristais de K-feldspato que atingem 15 cm. Localmente a estrutura ígnea original está preservada, mas em geral está bem foliado, com indicadores cinemáticos que sugerem movimentação dextral, relacionada à ZC Quixeramobim.

**Referências:** Almeida *et al.* (1999) e Nogueira (2004)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto parcial da extensa laje granítica que compõe o geossítio. b) Detalhe do granito, com destaque para fenocristal de K-feldspato com sombra de pressão assimétrica/ movimento dextral.

**Nome do Geossítio:** Serra do Pajé

**Identificação:** P- 10

**Município:** Sobral

**Coordenadas (UTM):** 372190 / 9560780

**Acesso/Localização:** O ponto ótimo de observação está localizado na Fazenda Lagoa das Pedras, com acesso por estrada carroçável a partir da CE-362.

**Tipologia:** Mirante

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Lei de Proteção ao Patrimônio Histórico Artístico Nacional (Decreto-Lei nº 25/1937)

**Unidade Geológica:** Granitoides Indiferenciados

**Interesse geológico principal:** Ígneo

**Interesse geológico secundário:** Tectônico e Geomorfológico

**Outros elementos de interesse:** Arqueológico

**Valor científico:** 310

**Potencial uso educativo:** 280

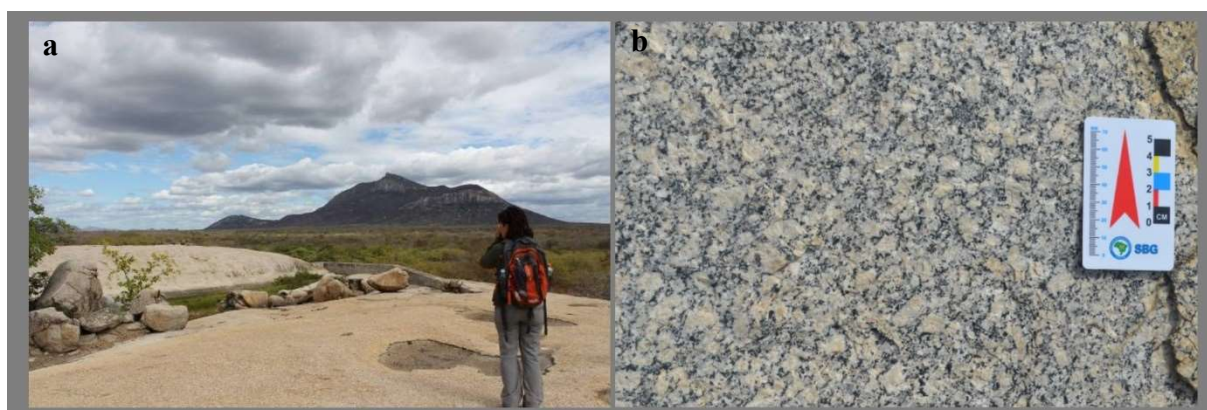
**Risco de Degradação:** 85

**Potencial uso turístico:** 225

**Descrição:** A Serra do Pajé é um corpo granítico intrusivo representante do magmatismo sin-tardi-orogênico, que atingiu intensamente o DCC durante os eventos colisionais de formação da porção oeste do continente Gondwana. Apresenta idades Rb-Sr de aproximadamente 524 Ma. Além de sua importância ígnea, a Serra do Pajé encontra-se seccionada pela Falha Rio Groaíras, zona de cisalhamento transcorrente sinistral, representando o período de atividade tectônica rúptil no DCC. O ponto de observação possui vista para a porção norte da Serra do Pajé. No local existe diversos afloramento de granito porfirítico, rico em feldspato potássico. Em diversos afloramentos observa-se a presença de gravuras rupestres.

**Referências:** Gomes (2006) e Tavares Jr. (1992)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral da face noroeste da Serra do Pajé. b) Detalhe do granito equigranular que compõe o geossítio.

**Nome do Geossítio:** Serra do Barriga

**Identificação:** P-19

**Município:** Forquilha e Irauçuba

**Coordenadas (UTM):** 373291 / 9587296

**Acesso/Localização:** Afloramento com acesso a partir de estrada carroçável à direita da BR-222, na altura do quilômetro 118, sentido Forquilha.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público e Privado (Misto)

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº. 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Sub Alcalina a Alcalina Meruoca

**Interesse geológico principal:** Ígneo

**Interesse geológico secundário:** Geocronológico e Geomorfológico

**Outros elementos de interesse:** Arqueológico e Econômico

**Valor científico:** 295

**Potencial uso educativo:** 290

**Risco de Degradação:** 230

**Potencial uso turístico:** 250

**Descrição:** Geossítio representante do magmatismo pós-orogênico relacionado ao final do Ciclo Brasileiro, com idades U-Pb de aproximadamente 522 Ma (Cambriano), correlacionando-o ao magmatismo intrusivo Meruoca, disposto no Domínio Médio Coreau. Caracterizada como um *stock* granítico poli intrusivo, a Serra apresenta fácies que variam de sienogranitos a monzogranitos equigranulares e porfíricos. No relevo, apresenta-se como inselbergue com dois picos distintos que atingem cotas máximas de 662 e 730 metros, destacando-se em meio à planície dissecada.

**Referências:** Almeida; Parente e Arthaud (2007) e Mattos (2005)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral da face sudoeste da Serra do Barriga. Vista a partir das coordenadas 0373254/9580705. b) Detalhe de sienogranito branco, uma das diversas fácies graníticas que compõem o *stock*.

**Nome do Geossítio:** Sienogranito do Complexo Anelar de Quintas      **Identificação:** P-65

**Município:** Sobral, Distrito de Taperuaba      **Coordenadas (UTM):** 400648/ 9550596

**Acesso/Localização:** No distrito de Taperuaba, afloramento localizado em estrada carroçável 5 km a partir da CE-362.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Sub Alcalina a Alcalina Meruoca

**Interesse geológico principal:** Geocronológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 325

**Potencial uso educativo:** 270

**Risco de Degradação:** 115

**Potencial uso turístico:** 210

**Descrição:** O Complexo Anelar de Quintas ocorre como um *stock* semicircular de aproximadamente 70 km<sup>2</sup>, predominantemente formado por biotita-sienogranito porfirítico e hornblenda-biotita diorito. É caracterizado como um corpo intrusivo pós-orogênico, resultante do último pulso magmático registrado no DCC em decorrência do Ciclo Brasileiro. Dados geocronológicos indicam idades próximas a 470 Ma (Ordoviciano). O afloramento selecionado para geossítio ocorre como um lajedo de biotita sienogranito porfirítico rosado e isotrópico, de granulação média, com presença de enclaves máficos de tamanhos variados.

**Referências:** Castro (2012)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do ponto selecionado para geossítio. Ao fundo, estruturas abandonadas de uma antiga construção. b) Detalhe de uma das fácies graníticas do Complexo Anelar, com destaque para a presença de enclave máfico

**Nome do Geossítio:** Inselbergues de Irauçuba

**Identificação:** P-4

**Município:** Irauçuba

**Coordenadas (UTM):** 411799 / 9586284

**Acesso/Localização:** No município de Irauçuba, o ponto de observação está localizado em estrada carroçável a partir da BR-222.

**Tipologia:** Mirante

**Regime de propriedade:** Público/Privado (misto)

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo e Tectônico

**Outros elementos de interesse:** Cultural

**Valor científico:** 205

**Potencial uso educativo:** 300

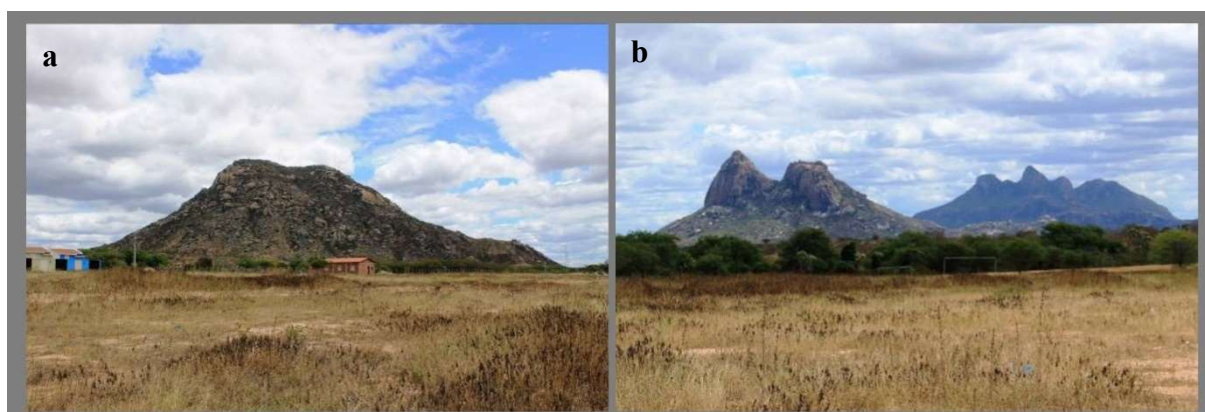
**Risco de Degradação:** 205

**Potencial uso turístico:** 250

**Descrição:** Geossítio representante do conjunto de inselbergues de Irauçuba, região norte da área de estudo. O ponto selecionado como mirante permite a observação de diversos inselbergues caracterizados por padrões de fraturamento semelhantes. Estes inselbergues representam volumes de relevo residuais do maciço de Uruburetama, que delimita localmente a zona costeira do Estado do Ceará, com altitudes entre 700 e 1000 metros. Estes inselbergues foram formados pela erosão diferencial de rochas graníticas frente ao embasamento gnáissico-migmatítico.

**Referências:** Sales e Peulvast (2007)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral de um dos inselbergues de Irauçuba. b) Aspecto geral de um dos conjuntos de inselbergues de Irauçuba.

**Nome do Geossítio:** Pedra do Cruzeiro

**Identificação:** P-45

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 498462 / 9451025

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado no centro do município de Quixadá, com acesso pela Rua Presidente Vargas.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Lei Municipal nº 1903 de 2000

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Calcialcalina de alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo

**Outros elementos de interesse:** Cultural e Turístico

**Valor científico:** 265

**Potencial uso educativo:** 335

**Risco de Degradação:** 190

**Potencial uso turístico:** 320

**Descrição:** Geossítio representante da porção central do campo de inselbergues de Quixadá, caracterizados pela presença de feições de dissolução, como caneluras e microbacias, formadas a partir da erosão dos enclaves máficos presentes no corpo granítico. O afloramento é formado por um corpo granítico porfirítico, com cristais de plagioclásio de até 5 cm. Ao longo do corpo observa-se xenólitos máficos e intrusões de material granítico leucocrático, marcados por fraturas de resfriamento. Destaca-se na paisagem por ser um corpo isolado, com cotas que atingem 190 metros. A partir de seu topo, observa-se a extensão do campo de inselbergues e sua influência na configuração da paisagem local.

**Referências:** Maia *et al.* (2015), Almeida, Ulbrich e McReath (1999)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Vista das caneluras formadas a partir da dissolução dos enclaves máficos. b) Detalhe de enclave máfico em granito porfirítico parcialmente removido pela dissolução seletiva.

**Nome do Geossítio:** Campo de Inselbergues de Quixadá

**Identificação:** P-46

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 492193 / 9448880

**Acesso/Localização:** Localizado no entorno do açude Cedro, aproximadamente 6 km do centro de Quixadá. O acesso ao topo do geossítio é realizado por meio de trilha.

**Tipologia:** Área Complexa

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** MONA (Lei Federal nº 9.985/2000 e Decreto Lei nº 26.805/2002).

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Calcialcalina de alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo

**Outros elementos de interesse:** Cultural, histórico e ecológico

**Valor científico:** 300

**Potencial uso educativo:** 325

**Risco de Degradação:** 210

**Potencial uso turístico:** 310

**Descrição:** Representa o campo de inselbergues e a porção periférica do batólito de Quixadá, caracterizado pela presença de feições de fraturamento que progridem até o colapso de blocos, configurando tafones de colapso. O inselbergue principal, denominado de Pedra da Galinha Choca, é formado por um corpo granítico porfirítico com cerca de 320 metros de altitude, com cristais de plagioclásio com até 5 cm, diversos enclaves máficos e intrusões de material granítico leucocrático, além de veios de composição quartzo-feldspática. A grande densidade destas intrusões graníticas condiciona os padrões de fraturamento deste inselbergue. A partir de seu topo pode-se observar a parte central do campo de inselbergues e sua influência na configuração da paisagem local. A Pedra Faladeira é outro inselbergue que se destaca no local, com presença de estruturas do tipo *honey comb*.

**Referências:** Maia *et al.* (2015), Almeida, Ulbrich e McReath (1999)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Vista do inselbergue conhecido como Pedra da Galinha Choca. Ponto de observação a partir do açude Cedro. b) Vista do campo de inselbergues a partir do Mirante da Galinha Choca. Destaque para a cidade de Quixadá e o geossítio Pedra do Cruzeiro, no centro.

**Nome do Geossítio:** Pico Serra Branca

**Identificação:** P-72

**Município:** Catunda

**Coordenadas (UTM):** 374506 / 9473058

**Acesso/Localização:** Acesso por estrada carroçável a partir da CE-265 (estrada para Cruzeta), próximo à sede do município de Monsenhor Tabosa.

**Tipologia:** Área Complexa

**Regime de propriedade:** Público e Privado

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº. 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo

**Outros elementos de interesse:** Ecológico e Turístico

**Valor científico:** 285

**Potencial uso educativo:** 290

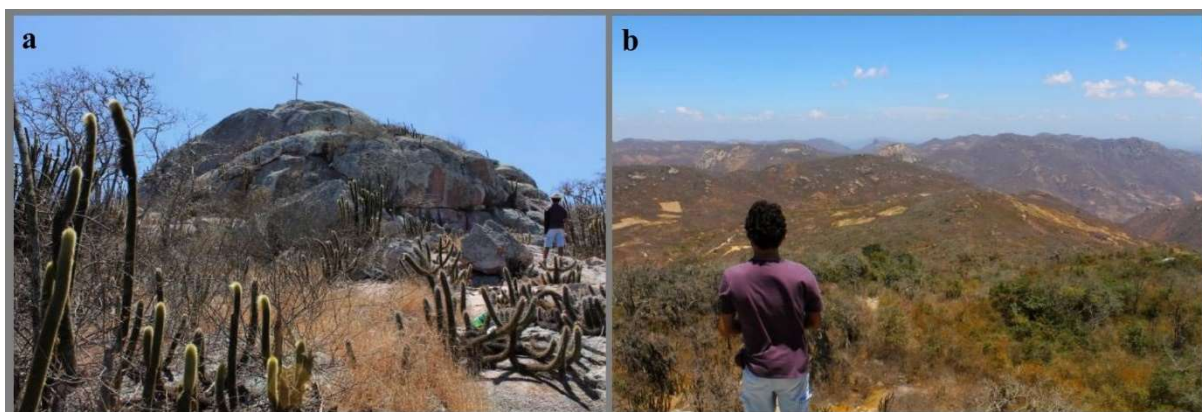
**Risco de Degradação:** 65

**Potencial uso turístico:** 260

**Descrição:** O geossítio Pico Serra Branca é o ponto mais alto do estado do Ceará, com 1154 metros de altitude. Inserido dentro do contexto da Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria, o geossítio é formado por um granito porfirítico róseo, rico em K-feldspato, com orientação de fluxo magmático com direção ENE-WSW e pequenos veios ricos em quartzo. O geossítio está localizado em um importante maciço residual chamado de Serra das Matas, caracterizado como importante divisor hidrográfico, com influência nas bacias dos rios Banabuiú, Acaraú e Poti. A paisagem a partir do ponto é marcada pela intercalação de altiplanos entre 500 e 600 metros de altitude.

**Referências:** Não foram encontradas referências até o momento.

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, o ponto mirante está localizado ao lado do Cruzeiro, no topo do afloramento. b) Vista do maciço Serra das Matas a partir do topo do geossítio.



## APÊNDICE D - SÍTIOS DA GEODIVERSIDADE NO DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL

**Sítio da Geodiversidade:** Enderbitos do Lineamento Transbrasiliano **Identificação:** P-5b

**Município:** Cariré

**Coordenadas (UTM):** 333976/ 9573265

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado próximo à rodovia CE-168, entre os municípios de Cariré e Sobral.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº. 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Granulitos

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 185

**Potencial uso educativo:** 220

**Risco de Degradação:** 205

**Potencial uso turístico:** 180

**Descrição:** Este sítio apresenta registros estruturais resultantes da ação tectônica da ZC Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) em rochas de alto grau metamórfico, com mineralogia característica de fácies granulito. O afloramento é formado por associação de clinopiroxênio-granada anfibolitos (granulitos máficos) e enderbites com feições miloníticas e de cisalhamento. O enderbite apresenta intensa lineação de estiramento mineral com alto ângulo e caimento para SE, e planos de fratura sub-verticais com orientação N140. O sítio está localizado no leito de uma pequena drenagem intermitente.

**Referências:** Amaral *et al.* (2012), Fetter (1999) e Nogueira Neto (2000)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Contato entre enderbites e granulitos máficos. b) Aspecto do enderbite com forte lineação de estiramento mineral e diversos planos de fratura discordantes.

**Sítio da Geodiversidade:** Filitos do Lineamento Transbrasiliano **Identificação:** P-06

**Município:** Sobral

**Coordenadas (UTM):** 349908 / 9595143

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em corte da rodovia CE-232, sentido Massapé.

**Tipologia:** Seção

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Não

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 135

**Potencial uso educativo:** 195

**Risco de Degradação:** 330

**Potencial uso turístico:** 195

**Descrição:** Este sítio apresenta registros estruturais resultantes da ação tectônica da Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II em rochas de baixo grau metamórfico. O afloramento é formado por um pacote de filitos intercalados com porções xistosas, ricas em quartzo e feldspato. Apresenta foliação milonítica de alto ângulo na direção NNE-SSW e indicadores de cinemática dextral. As rochas estão bastante alteradas.

**Referências:** Indicação de Sebastián Gonzáles Chiozza e Maria da Glória Motta Garcia

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do sítio onde é possível observar o estágio de alteração do afloramento. b) Detalhe do pacote de filitos com feições miloníticas resultantes da transcorrência do Lineamento Transbrasiliano.

**Sítio da Geodiversidade:** Gnaisse Deformado de Forquilha **Identificação:** P-20

**Município:** Forquilha

**Coordenadas (UTM):** 364737 / 9580610

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado em corte da rodovia BR-222, próximo ao município de Forquilha.

**Tipologia:** Seção

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Canindé

**Interesse geológico principal:** Metamórfico

**Interesse geológico secundário:** Tectônico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 195

**Potencial uso educativo:** 215

**Risco de Degradação:** 300

**Potencial uso turístico:** 190

**Descrição:** Sítio representante da sequência de rochas supracrustais que caracterizam a Unidade Canindé, com presença de registros estruturais tectônicos. O afloramento é formado por gnaisse deformado com veios de leucogranito e material pegmatítico. Apresenta falhas de empurrão, com dobras e tectônica de baixo ângulo, além de *boudinagem* e milonitização localizadas.

**Referências:** Amaral (2010)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do geossítio, com destaque para a deformação do pacote e desenvolvimento de *boudinagem*. b) Detalhe do afloramento com destaque para o indicador cinemático afetando o veio aplítico.

**Sítio da Geodiversidade:** Granada Anfibolitos de Boa Viagem **Identificação:** P-61

**Município:** Boa Viagem

**Coordenadas (UTM):** 409773 / 9475826

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado a aproximadamente 15 quilômetros ao sul de Lagoa do Mato/Itatira, na segunda entrada à direita a partir da CE-168.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Unidade Independência

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 175

**Potencial uso educativo:** 190

**Risco de Degradação:** 340

**Potencial uso turístico:** 180

**Descrição:** Sítio com registro do metamorfismo de alta pressão que atingiu a porção leste do Domínio Ceará Central durante o Neoproterozoico. O afloramento é formado por granada anfibolito associado a rochas calcissilicáticas. Observa-se a presença de coroas de plagioclásio ao redor dos cristais das granadas dos anfibolitos, configurando o metamorfismo em condições de retroeclogito.

**Referências:** Garcia e Arthaud (2004), Garcia *et al.* (2006) e Almeida, Parente e Arthaud (2007)

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) e b) Aspecto geral do sítio de granada-anfibolito, destacando a vulnerabilidade quanto a tipologia (ponto de pequenas dimensões) e localização (ao lado da estrada, exposto a intervenções em possíveis obras de pavimentação)

**Sítio da Geodiversidade:** Granito Quixadá

**Identificação:** P-38

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 501489 / 9451768

**Acesso/Localização:** No município de Quixadá, o afloramento está localizado em terreno à beira da CE-122, sentido Ibicuitinga

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Calcialcalina de médio a alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Ígneo

**Interesse geológico secundário:** Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 195

**Potencial uso educativo:** 280

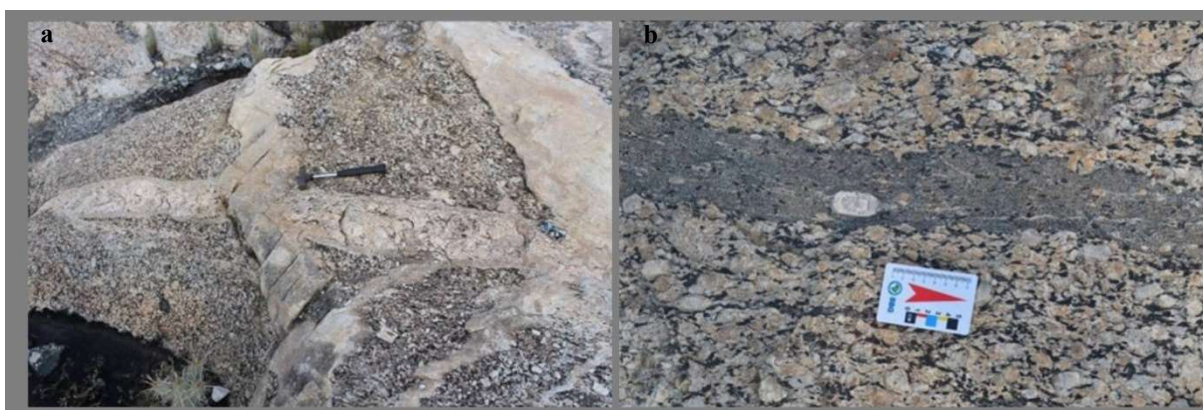
**Risco de Degradação:** 300

**Potencial uso turístico:** 225

**Descrição:** O Batólito Quixadá ocorre como um corpo alongado na direção NE-SW, com bordas ovaladas e aproximadamente 260 km<sup>2</sup>. Seu alojamento e intrusão ocorreram há aproximadamente 585 Ma por meio de processos transpressivos entre as Zonas de Cisalhamento Quixeramobim e Senador Pompeu, nas fases finais da orogenia Brasileira. O afloramento selecionado para representar esta porção do batólito apresenta-se como um granito cinza porfirítico bastante deformado, com cristais de feldspato com até 5 cm, enclaves máficos orientados e intrusões graníticas leucocráticas que registram fraturas de resfriamento.

**Referências:** Almeida, Ulbrich e McReath (1999) e Nogueira (2004)

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto do afloramento, com destaque para as intrusões leucocráticas com fraturas de resfriamento. b) Detalhe para a rocha, com destaque para a orientação mineral do xenólito máfico e fenocristal de feldspato com zoneamento oscilatório, onde as zonas de crescimento estão realçadas por inclusão mineral.

**Sítio da Geodiversidade:** Granulitos Enderbíticos de Cariré **Identificação:** P-05a

**Município:** Cariré

**Coordenadas (UTM):** 333976 / 9573265

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado próximo à rodovia CE-168, entre os municípios de Cariré e Sobral.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Ceará, Granulitos

**Interesse geológico principal:** Geodinâmico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico e Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 165

**Potencial uso educativo:** 180

**Risco de Degradação:** 210

**Potencial uso turístico:** 170

**Descrição:** Sítio representante dos registros metamórficos em fácies granulito que ocorrem associados ao Lineamento Transbrasiliano. O afloramento é formado por associação de clinopiroxênio-granada anfíbolitos e enderbitos com feições miloníticas e de cisalhamento. A cristalização do pacote ocorreu há aproximadamente 2,1 Ga, com atuação do metamorfismo entre cerca de 580 Ma, sob condições de temperatura e pressão de até 870°C e acima de 9 Kbar na porção félsica e acima de 911°C e 13 Kbar para a porção máfica.

**Referências:** Amaral *et al.* (2012), Fetter (1999) e Nogueira Neto (2000)

**Documentação fotográfica:** O registro fotográfico não pode ser realizado.

**Sítio da Geodiversidade:** Gruta São Francisco de Assis **Identificação:** P-79

**Município:** Quixadá **Coordenadas (UTM):** 504742 / 9452370

**Acesso/Localização:** No município de Quixadá, seguir a nordeste pela CE-265 e entrar a esquerda próximo ao restaurante Ponto da Galinha Caipira.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** MONA (Lei Federal nº 9.985/2000 e Decreto Lei nº 26.805/2002)

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Calcialcalina de médio a alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo

**Outros elementos de interesse:** Cultural (religioso) e turístico

**Valor científico:** 170

**Potencial uso educativo:** 325

**Risco de Degradação:** 205

**Potencial uso turístico:** 275

**Descrição:** Este sítio é mais um dos inselbergues do campo de inselbergues de Quixadá, formado por granito porfirítico com intrusões de material pegmatítico em porções localizadas. No local, uma capela foi construída com materiais do próprio inselbergue e de outras rochas da região.

**Referências:** Divulgação turística

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do inselbergue que forma o sítio da geodiversidade. d) detalhe do granito que compõe o inselbergue, com destaque para o fenocristal de feldspato com zoneamento oscilatório.

**Sítio da Geodiversidade:** Lagoa do Fofô

**Identificação:** P-77

**Município:** Quixeramobim

**Coordenadas (UTM):** 429346 / 9595019

**Acesso/Localização:** No município de Senador Pompeu, seguir pela CE-166, sentido a localidade do Encantado (Quixeramobim).

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Lei de Proteção ao Patrimônio Histórico Artístico Nacional (Decreto-Lei nº 25/1937)

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva calcialcalina de médio a alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Petrológico

**Outros elementos de interesse:** Arqueológico

**Valor científico:** 160

**Potencial uso educativo:** 250

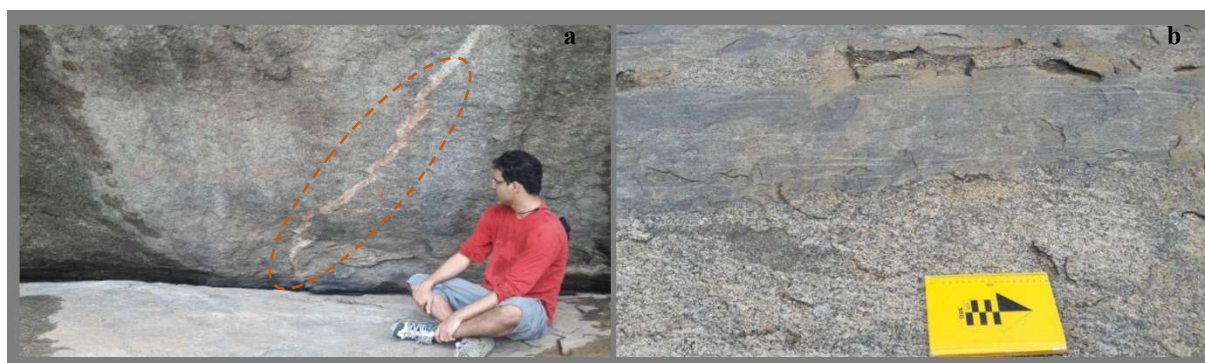
**Risco de Degradação:** 120

**Potencial uso turístico:** 185

**Descrição:** Este sítio está localizado no campo de inselbergues cristalinos à sudeste de Quixeramobim, região de limite entre o batólito Quixeramobim e as unidades litológicas encaixantes paleoproterozoicas. O inselbergue junto à Lagoa do Fofô é formado por um granito cinza equigranular com intrusões quartzo-feldspáticas, embora inselbergues de composição gnáissico-migmatíticas possam ser encontrados na região. O local abriga diversas gravuras rupestres.

**Referências:** Almeida, Parente e Arthaud (2007)

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto da rocha utilizada como painel para gravuras rupestres, sobretudo ao longo do veio de quartzo que corta o afloramento diagonalmente. b) Detalhe da rocha que compõe o inselbergue.



**Sítio da Geodiversidade:** Lagoa dos Monólitos

**Identificação:** 80

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 499878 / 9451739

**Acesso/Localização:** O afloramento está localizado na entrada do município de Quixadá a partir da CE-265.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Público

**Regime de proteção legal:** Lei Municipal nº 1903 de 2000

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva calcialcalina de médio a alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo

**Outros elementos de interesse:** Ecológico e Turístico

**Valor científico:** 175

**Potencial uso educativo:** 335

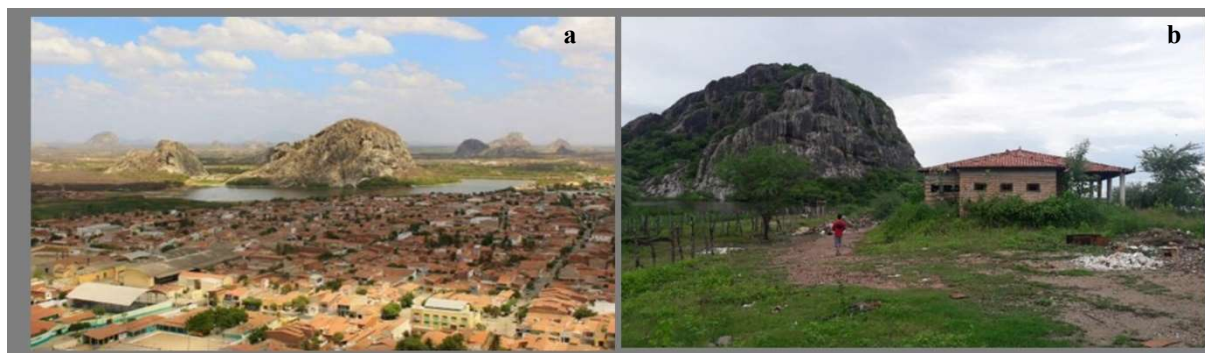
**Risco de Degradação:** 190

**Potencial uso turístico:** 320

**Descrição:** Este sítio é formado por um inselbergue e pelo açude Eurípides Pinheiro, localizados na área central de Quixadá. Representa a porção central do campo de inselbergues de Quixadá, caracterizados pela presença de feições de dissolução, como caneluras e microbacias, formadas a partir da erosão dos enclaves máficos presentes no corpo granítico. O afloramento é formado por um corpo granítico porfirítico.

**Referências:** Divulgação turística.

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Vista da Lagoa dos Monólitos a partir da Pedra do Cruzeiro, com destaque para o inselbergue central conhecido como Pedra do Eurípides. b) aspecto geral da área recreativa próxima à Lagoa, com destaque para o estado de abandono do local.

**Sítio da Geodiversidade:** Milonitos de Mombaça

**Identificação:** P-51

**Município:** Mombaça

**Coordenadas (UTM):** 433258 / 9357114

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado à beira da rodovia CE-168, sentido Acopiara, no município de Mombaça.

**Tipologia:** Ponto

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Ausente

**Unidade Geológica:** Complexo Cruzeta, Unidade Acopiara

**Interesse geológico principal:** Tectônico

**Interesse geológico secundário:** Mineralógico

**Outros elementos de interesse:** -

**Valor científico:** 195

**Potencial uso educativo:** 180

**Risco de Degradação:** 370

**Potencial uso turístico:** 160

**Descrição:** Sítio representante dos esforços tectônicos da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu sobre o pacote de gnaisses paleoproterozoicos do Complexo Cruzeta. No afloramento, encontra-se um gnaisse máfico porfiroclástico com textura milonítica bem desenvolvida, porém com pouca plasticidade, indicando condições mais “frias” de milonitização. Feições cataclásticas são encontradas como veios de pseudotaquilito. Apresenta foliação milonítica subvertical na direção NNE-SSW. O afloramento está bastante alterado, com crescimento de vegetação no entorno.

**Referências:** Indicação de Maria da Glória Motta Garcia

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Detalhe do gnaisse tonalítico milonitizado, com destaque para o aspecto cominuído dos cristais de feldspato. b) Detalhe para a presença de veios de pseudotaquilitos em meio gnaisse.

**Sítio da Geodiversidade:** Pedra da Baleia

**Identificação:** P-82

**Município:** Quixeramobim

**Coordenadas (UTM):** 471031 / 9426970

**Acesso/Localização:** O sítio se localiza na CE-060, e seu ponto de observação na mesma rodovia, na altura do Hospital Regional Sertão Central.

**Tipologia:** Mirante

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:**

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva calcialcalina de médio a alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Petrológico

**Outros elementos de interesse:** Cultural

**Valor científico:** 190

**Potencial uso educativo:** 305

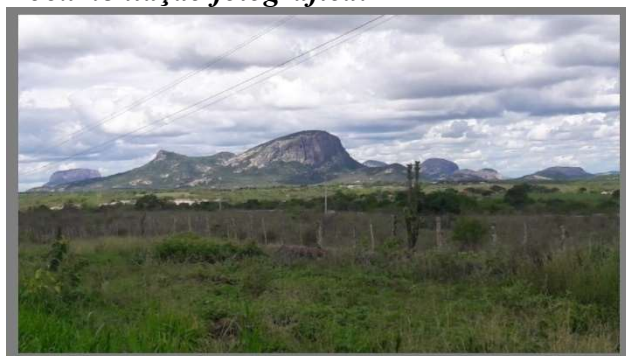
**Risco de Degradação:** 215

**Potencial uso turístico:** 205

**Descrição:** Este sítio apresenta composição gnáissico-migmatítica associada ao embasamento rochoso afetado pela intrusão dos batólitos de Quixadá e Quixeramobim, no Neoproterozoico. Representa uma importante toponímia da região, marcando a proximidade entre os limites dos municípios de Quixadá e Quixeramobim. Observados de longe, seus contornos lembram ao de uma baleia.

**Referências:** Divulgação Turística

**Documentação fotográfica:**



**Sítio da Geodiversidade:** Pedra do Frade

**Identificação:** P-44

**Município:** Itapagé

**Coordenadas (UTM):** 429346 / 9595019

**Acesso/Localização:** Acesso por estrada carroçável a partir da BR-222 (6 km) depois do trevo de Itapagé. O acesso só é possível com carro tracionado.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Ígneo

**Outros elementos de interesse:** Turístico e Cultural

**Valor científico:** 175

**Potencial uso educativo:** 300

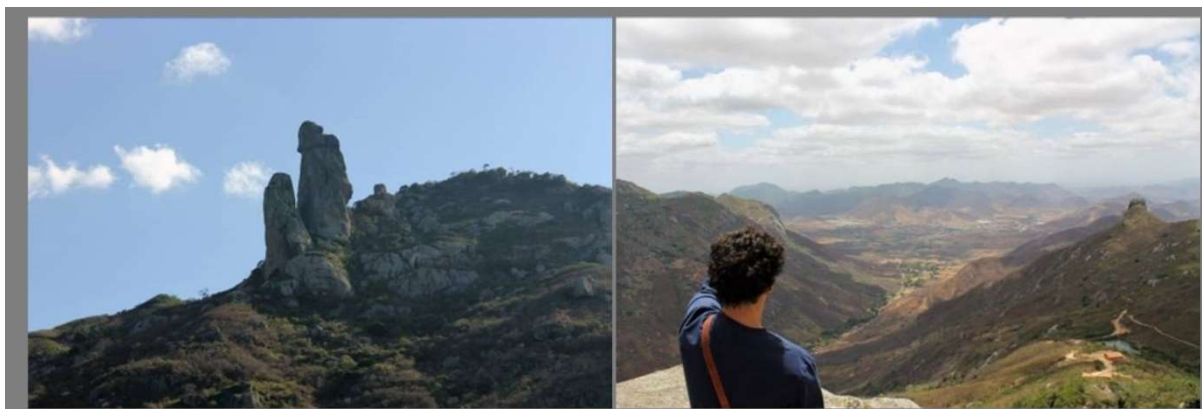
**Risco de Degradação:** 135

**Potencial uso turístico:** 275

**Descrição:** Melhor ponto para observação das feições de relevo características do semiárido cearense na região, sendo possível a correlação com as litologias da porção nordeste da Suíte Intrusiva Tamboril Santa Quitéria. No topo do mirante é possível observar planícies dissecadas, maciços residuais e vales, até a região de Taparuaba, com destaque para o Maciço de Uruburetama. Na subida ao mirante, observa-se a presença de relevo saprolítico. O sítio também representa o biotita monzogranito que constitui uma das fácies graníticas do Arco Magmático de Santa Quitéria. São granitos porfiríticos acinzentados, com feldspatos alongados e de tamanho centimétrico (até 5 cm), com orientação de fluxo magmático na direção NW-SE.

**Referências:** Divulgação Turística

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Aspecto geral do pico granítico que denomina a geossítio. b) Vista a partir do geossítio, com destaque para os maciços residuais e o vale escavado.

**Sítio da Geodiversidade:** Pedra dos Ventos

**Identificação:** P-81

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 494935 / 9439089

**Acesso/Localização:** Afloramento localizado no Distrito de Juatama, com acesso a partir da rodovia CE-368, entre os municípios de Quixadá e Quixeramobim.

**Tipologia:** Mirante

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:** Área de Preservação Permanente (Lei Federal nº 12.651/2012)

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva calcialcalina de médio a alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Metamórfico

**Outros elementos de interesse:** Turístico

**Valor científico:** 170

**Potencial uso educativo:** 335

**Risco de Degradação:** 170

**Potencial uso turístico:** 310

**Descrição:** Sítio formado por um gnaiss cinza com porções migmatizadas, localizado no contexto do cinturão de rochas gnáissico-migmatíticas relacionadas aos batólitos de Quixadá e Quixeramobim. A Pedra dos Ventos pode ser classificada como um inselbergue maciço, sem a presença de feições de dissolução e de fraturamento, associado a litologia encaixante dos batólitos. A partir de seu topo, observa-se a porção mais externa do campo de inselbergues de Quixadá.

**Referências:** Indicação turística

#### **Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Vista parcial para o campo de inselbergues em Quixadá a partir do topo da Pedra dos Ventos.

b) Afloramento do gnaiss migmatítico que forma o inselbergue, com destaque para a infraestrutura de recreação.

**Sítio da Geodiversidade:** Serra do Urucum

**Identificação:** P-78

**Município:** Quixadá

**Coordenadas (UTM):** 498987/ 9442698

**Acesso/Localização:** No município de Quixadá, seguir pela CE-060 sentido Monte Alegre até a entrada do Santuário Imaculada Rainha do Sertão. A partir deste ponto, seguir as indicações de subida da serra até a chegada ao Santuário.

**Tipologia:** Área

**Regime de propriedade:** Privado

**Regime de proteção legal:**

**Unidade Geológica:** Suíte Intrusiva calcialcalina de médio a alto K Itaporanga

**Interesse geológico principal:** Geomorfológico

**Interesse geológico secundário:** Petrológico

**Outros elementos de interesse:** Cultural (religioso), turístico e estético

**Valor científico:** 170

**Potencial uso educativo:** 345

**Risco de Degradação:** 190

**Potencial uso turístico:** 320

**Descrição:** Este sítio se constitui de um maciço residual de composição gnáissico-migmatítica, conhecido como Serra do Urucum. O gnaiss apresenta-se ocelado, com porções graníticas de textura afanítica. O local também abriga um santuário religioso e infraestrutura para prática de voo livre.

**Referências:** Divulgação turística

**Documentação fotográfica:**



Legenda: a) Vista da Serra do Urucum a partir da Pedra dos Ventos. A seta indica o local do Santuário de Nossa Senhora Rainha do Sertão. b) Detalhe do contato entre o *augen* gnaiss e intrusão granítica que formam o inselbergue Serra do Urucum.

**APÊNDICE E – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS NOS  
APÊNDICES C E D**

- ALMEIDA, A. R. **Petrologia e aspectos tectônicos do complexo granítico Quixadá-Quixeramobim, CE**. 1995. 316 p. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- ALMEIDA, A. R.; PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. **Nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem: Itatira-SB.24-V-B-V: 1:100.000**. Fortaleza: CPRM, 2007.
- ALMEIDA, A. R.; ULBRICH, H. H. G. J.; MCREATH, I. O batólito Quixadá - petrologia e geoquímica. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 29-52, 1999.
- AMARAL, W. S. *et al.* High-pressure granulites from Cariré, Borborema Province, NE Brazil: tectonic setting, metamorphic conditions and U–Pb, Lu–Hf and Sm–Nd geochronology. **Gondwana Research**, [S.l.], v. 22, n. 3-4, p. 892-909, 2012.
- AMARAL, W. S. **Análise geoquímica, geocronológica e termobarométrica das rochas de alto grau metamórfico, adjacentes ao Arco Magmático de Santa Quitéria, NW da Província Borborema**. 2010. 248 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- AMARAL, W. S.; SANTOS, T. J. S. Airborne geophysical and tectonics of the Ceará Central Domain, eastern region of the Santa Quitéria. **Brazilian Journal of Geophysics**. [S.l.], v. 26, n. 4, p. 527-542, 2008.
- AMARAL, W. S.; SANTOS, T. J. S.; WERNICK, E. Occurrence and geochemistry of metamafic rocks from the Forquilha Eclogite Zone, central Ceará (NE Brazil): geodynamic implications. **Geological Journal**, [S.l.], v. 46, n. 2-3, p. 137-155, 2011.
- AMARAL, W. S. *et al.* 1.57 Ga protolith age of the Neoproterozoic Forquilha eclogites, Borborema Province, NE-Brazil, constrained by U–Pb, Hf and Nd isotopes. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], v. 58, p. 210-222, 2015.
- ANCELMI, M.F. *et al.* Geologia da faixa eclogítica de Forquilha, Domínio Ceará Central, noroeste da Província Borborema. **Brazilian Journal of Geology**, [S.l.], v. 43, n. 2, p. 235-252, 2013.
- ARAÚJO, C. E. G. *et al.* Tracing Neoproterozoic subduction in the Borborema Province (NE-Brazil): Clues from U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf-O isotopes on granitoids and migmatites. **Lithos**, [S.l.], v. 202-203, p. 167-189, 2014.
- ARTHAUD, M. H. *et al.* Evolução termo - dinâmica da sequência metassedimentar de Quixeramobim (CE): suas consequências quanto ao funcionamento das transcorrências dúcteis do Ceará Central. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 47-56, 1993.
- ARTHAUD, M. H. **Evolução neoproterozoica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira**. 2007. 170 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2007.

CABY, R.; ARTHAUD, M. H. Major precambrian *nappes* of the Brazilian belt, Ceará, northeast Brazil. **Geology**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 871-874, 1986.

CASTRO, N. A. *et al.* Ordovician A-type granitoid magmatism on the Ceará Central Domain, Borborema Province, NE-Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], v. 36, p. 18-31, 2012.

CASTRO, N. A. **Evolução geológica proterozoica da região entre Madalena e Taperuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. 2004. 212 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

COSTA, F. G. *et al.* 2036 Ma SHRIMP U-Pb zircon age for PGE-bearing chromitite of the Troia mafic-ultramafic complex, Ceará Central Domain, north Borborema Province. *In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 9., 2014, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: SASIG, 2014. p. 164.

COSTA, F. G. *et al.* Geochemistry and U–Pb zircon ages of plutonic rocks from the Algodões granite-greenstone terrane, Troia Massif, northern Borborema Province, Brazil: Implications for Paleoproterozoic subduction-accretion processes. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], v. 59, p. 45-68, 2015.

FETTER, A. H. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil**: Implications for the assembly of Gondwana. 1999. 164 p. Tese (Doutorado) - University of Kansas, Kansas, 1999.

GARCIA, M. G. M. *et al.* Retroeclogitos nas *nappes* brasileiras do Domínio Ceará Central, Província Borborema: dados texturais e termobarométricos preliminares. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 43., 2006, Aracajú. **Anais...** Aracajú: SBGEO, 2006. p. 23.

GARCIA, M. G. M.; ARTHAUD, M. H. Caracterização de trajetórias P-T em *nappes* brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena - Ceará Central. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 17, n. 2, p. 173-191, 2004.

GARCIA, M. G. M.; SANTOS, T. J. S.; AMARAL, W. S. Provenance and tectonic setting of neoproterozoic supracrustal rocks from the Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): constraints from geochemistry and detrital zircon ages. **International Geology Review**, [S.l.], v. 56, n. 4, p. 481-500, 2014.

GOMES, I. P. **Caracterização petrográfica e petroquímica dos granitos tardi e pós-tectônicos da região de Santa Quitéria-Ceará**. 2006. 167 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

HAMELAK, G. M. S. **Evolução tectono-metamórfica dos limites arqueano/paleoproterozóico (Folhas Mombaça e Boa Viagem) - Domínio Ceará Central**. 2008. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MAIA, R. P. *et al.* Geomorfologia do campo de inselbergues de Quixadá, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 239-253, 2015.



- MARTINS, G. **Litogeoquímica e controles geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró**. 2000. 218 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- MARTINS, G.; OLIVEIRA, E. P. Arcabouço lito-estrutural da Suíte Metamórfica Algodões-Choró, Domínio Ceará Central da Província Borborema. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 17, n. 1, p. 38-51, 2004.
- MATTOS, I. C. **Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral (CE)**. 2005. 260 p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.
- NEVES, S. P. A Zona de Cisalhamento de Tauá, Ceará: sentido, estimativa do deslocamento, evolução estrutural e granitogênese associada. **Revista Brasileira de Geociências**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 161-173, 1991.
- NOGUEIRA NETO, J. A. **Evolução geodinâmica das faixas granulíticas de granja de Cariré, extremo noroeste da Província Borborema**. 2000. 239 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- NOGUEIRA, J. F. **Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu - Ceará**. 2004. 140 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- PARENTE, C. V. *et al.* Depósitos de escarnitos mineralizados em ferro e cobre do Arco Magmático de Santa Quitéria, Ceará, Província Borborema do Nordeste do Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, [S. l.], v. 45, n. 3, p. 359-382, 2015.
- SALES, V. C.; PEULVAST, J. P. Evolução morfoestrutural do revelo da margem continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, [S. l.], v. 7, n. 20, p. 1-21, 2007.
- SANTOS, T. J. S. *et al.* Relics of eclogite facies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, [S. l.], v. 15, n. 3-4, p. 454-470, 2009.
- SANTOS, T. J. S. *et al.* U–Pb age of the coesite-bearing eclogite from NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for western Gondwana assembly. **Gondwana Research**, [S. l.], v. 28, n. 3, p. 1183-1196, 2015.
- TAVARES JÚNIOR, S. S. **Caracterização litoquímica e geocronologia Rb-Sr de rochas granitoides e ortognaisses da região de Santa Quitéria-Sobral, NW do Ceará**. 1992. 145 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Pará, Pará, 1992.
- VERÍSSIMO, C. U. V. *et al.* The Itataia phosphate-uranium deposit (Ceará, Brazil) new petrographic, geochemistry and isotope studies. **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 70, p. 115-144, 2016.

VERÍSSIMO, C. U. V. *et al.* Petrografia e litoquímica das Formações Ferríferas Bandadas da região de Quixeramobim - Boa Viagem, Ceará, Brasil. **Geociências**, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 43-52, 2009.

ZINCONE, S. A. **Petrogênese do batólito Santa Quitéria: implicações ao magmatismo Brasileiro na porção norte da Província Borborema, NE/Brasil.** 2011. 179 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

**ANEXO A - CRITÉRIOS E PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA  
NA PLATAFORMA GEOSIT/CPRM**

Tabela 09 - Critérios e parâmetros para avaliação quantitativa do valor científico

<b>Representatividade (30%)</b>	
O local de interesse é o melhor exemplo atualmente conhecido na área de trabalho para ilustrar elementos ou processos, relacionados com a área temática em questão (quando aplicável)	4 pontos
O local de interesse é um bom exemplo para ilustrar elementos ou processos relacionados com a área temática em questão (quando aplicável)	2 pontos
O local de interesse ilustra razoavelmente elementos ou processos relacionados com a área temática em questão (quando aplicável)	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Local-tipo (20%)</b>	
O local de interesse é reconhecido como holostatótipo ou unidade litodêmica nos léxicos estratigráficos do Brasil e da Amazônia Legal ou documentos similares, ou é a fonte de um holótipo, neótipo ou lectótipo registrado em publicações científicas, de acordo com o código (ICZN, ICBN ou ICN) vigente na época da descrição e cadastrado na Base de Dados Paleo da CPRM ou bases similares ou é um sítio de referência da IMA;	4 pontos
O local de interesse é reconhecido, na área de trabalho, como local-tipo secundário, sendo a fonte de um parastratótipo, unidade litodêmica ou de um parátipo	2 pontos
O local de interesse é reconhecido, na área de trabalho, como um dos locais-tipo secundário, sendo a fonte de um ou mais parastratótipo, unidades litodêmicas, parátipo ou sintipo	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Conhecimento Científico (5%)</b>	
Existem artigos sobre o local de interesse em livro, em revistas científicas internacionais, diretamente relacionados com a categoria temática em questão (quando aplicável)	4 pontos
Existem artigos sobre o local de interesse em revistas científicas nacionais, diretamente relacionados com a categoria temática em questão (quando aplicável)	2 pontos
Existem resumos apresentados sobre o local de interesse em anais de eventos científicos, ou em relatórios inéditos, diretamente relacionados com a categoria temática em questão (quando aplicável)	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Integridade (15%)</b>	
Os principais elementos geológicos (relacionados com a categoria temática em questão, quando aplicável) estão muito bem preservados	4 pontos
O local de interesse não está muito bem preservado, mas os principais elementos geológicos (relacionados com a categoria temática em questão, quando aplicável) ainda estão preservados	2 pontos
O local de interesse tem problemas de preservação e os principais elementos geológicos (relacionados com a categoria temática em questão, quando aplicável) estão alterados ou modificados	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

<b>Diversidade Geológica (5%)</b>	
Local de interesse com 5 ou mais tipos diferentes de aspectos geológicos com relevância científica	4 pontos
Local de interesse com 3 ou 4 tipos diferentes de aspectos geológicos com relevância científica	2 pontos
Local de interesse com 1 ou 2 tipos diferentes de aspectos geológicos com relevância científica	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Raridade (15%)</b>	
O local de interesse é a única ocorrência deste tipo na área de estudo (representando a categoria temática em questão, quando aplicável)	4 pontos
Existem, na área de estudo, 2-3 exemplos de locais semelhantes (representando a categoria temática em questão, quando aplicável)	2 pontos
Existem, na área de estudo, 4-5 exemplos de locais semelhantes (representando a categoria temática em questão, quando aplicável)	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Limitações ao uso (10%)</b>	
Não existem limitações (necessidade de autorização, barreiras físicas, etc.) para realizar amostragem ou trabalho de campo	4 pontos
É possível fazer amostragem ou trabalho de campo depois de ultrapassar as limitações existentes	2 pontos
A realização de amostragem ou de trabalho de campo é muito difícil de ser conseguida devido à existência de limitações (necessidade de autorização, barreiras físicas, etc.)	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

Fonte: Rocha *et al.* (2016)

Tabela 10 - Critérios e parâmetros para avaliação quantitativa do risco de degradação

<b>Deterioração de elementos geológicos (35%)</b>	
Possibilidade de deterioração de todos os elementos geológicos	4 pontos
Possibilidade de deterioração dos principais elementos geológicos	3 pontos
Possibilidade de deterioração dos elementos geológicos secundários	2 pontos
Existem reduzidas possibilidades de deterioração dos elementos geológicos secundários	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Proximidade a áreas/atividades com potencial para causar degradação (20%)</b>	
Local de interesse situado a menos de 100 m de área/atividade com potencial para causar degradação	4 pontos
Local de interesse situado a menos de 500 m de área/atividade com potencial para causar degradação	3 pontos
Local de interesse situado a menos de 1000 m de área/atividade com potencial para causar degradação	2 pontos
Local de interesse situado a mais de 1000 m de área/atividade com potencial para causar degradação	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

<b>Proteção legal (20%)</b>	
Local de interesse situado numa área sem proteção legal nem controle de acesso	4 pontos
Local de interesse situado numa área sem proteção legal, mas com controle de acesso	3 pontos
Local de interesse situado numa área com proteção legal, mas sem controle de acesso	2 pontos
Local de interesse situado a mais de 1000 m de área/atividade com potencial para causar degradação	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Acessibilidade (15%)</b>	
Local de interesse localizado a menos de 100 m de uma estrada asfaltada com local para estacionamento de veículos	4 pontos
Local de interesse localizado a menos de 500 m de uma estrada asfaltada	3 pontos
Local de interesse acessível por veículo em estrada não asfaltada	2 pontos
Local de interesse sem acesso direto por estrada, mas situado a menos de 1 km de uma estrada acessível por veículos	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Densidade populacional (10%)</b>	
Local de interesse localizado num município com mais de 1000 habitantes por km <sup>2</sup>	4 pontos
Local de interesse localizado num município com 250-1000 habitantes por km <sup>2</sup>	3 pontos
Local de interesse localizado num município com 100-250 habitantes por km <sup>2</sup>	2 pontos
Local de interesse localizado num município com menos de 100 habitantes por km <sup>2</sup>	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

Fonte: Rocha *et al.* (2016)

Tabela 11 - Critérios e parâmetros para avaliação quantitativa do potencial uso educativo e turístico

<b>Vulnerabilidade (10%)</b>	
Os elementos geológicos do local de interesse não apresentam possibilidade de deterioração por atividades antrópicas	4 pontos
Possibilidade de deterioração de elementos geológicos secundários por atividade antrópica	3 pontos
Possibilidade de deterioração dos principais elementos geológicos por atividade antrópica	2 pontos
Possibilidade de deterioração de todos os elementos geológicos por atividade antrópica	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Acessibilidade (10%)</b>	
Local de interesse localizado a menos de 100 m de uma estrada asfaltada com local para estacionamento de veículos	4 pontos
Local de interesse localizado a menos de 500 m de uma estrada asfaltada	3 pontos
Local de interesse acessível por veículo em estrada não asfaltada	2 pontos
Local de interesse sem acesso direto por estrada, mas situado a menos de 1 km de uma estrada acessível por veículo	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

<b>Limitações ao uso (5%)</b>	
O local de interesse não tem limitações para ser usado por estudantes e turistas	4 pontos
O local de interesse pode ser usado por estudantes e turistas, mas apenas ocasionalmente	3 pontos
O local de interesse pode ser usado por estudantes e turistas, mas só depois de ultrapassar certas limitações (autorização, barreiras físicas, marés, inundações, etc.)	2 pontos
O uso por estudantes e turistas é muito difícil de conseguir devido à dificuldade em ultrapassar certas limitações (autorização, barreiras físicas, marés, inundações, etc.)	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Segurança (10%)</b>	
Local de interesse com infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimãos, etc.), rede de comunicações móveis e situado a menos de 10 km de serviços de socorro	4 pontos
Local de interesse com infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimãos, etc.), rede de comunicações móveis e situado a menos de 25 km de serviços de socorro	3 pontos
Local de interesse sem infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimãos, etc.) mas com rede de comunicações móveis e situado a menos de 50 km de serviços de socorro	2 pontos
Local de interesse sem infraestrutura de segurança (vedações, escadas, corrimãos, etc.) nem rede de comunicações móveis e situado a mais de 50 km de serviços de socorro	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Logística (5%)</b>	
Existem restaurantes e alojamentos para grupos de 50 pessoas a menos de 15 km do local de interesse	4 pontos
Existem restaurantes e alojamentos para grupos de 50 pessoas a menos de 50 km do local de interesse	3 pontos
Existem restaurantes e alojamentos para grupos de 50 pessoas a menos de 100 km do local de interesse	2 pontos
Existem restaurantes e alojamentos para grupos até 25 pessoas a menos de 50 km do local de interesse	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Densidade populacional (5%)</b>	
Local de interesse localizado num município com mais de 1000 habitantes por km <sup>2</sup>	4 pontos
Local de interesse localizado num município com 250-1000 habitantes por km <sup>2</sup>	3 pontos
Local de interesse localizado num município com 100-250 habitantes por km <sup>2</sup>	2 pontos
Local de interesse localizado num município com menos de 100 habitantes por km <sup>2</sup>	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

<b>Associação com outros valores (5%)</b>	
Existem diversos valores ecológicos e culturais a menos de 10 km do local de interesse	4 pontos
Existem diversos valores ecológicos e culturais a menos de 20 km do local de interesse	3 pontos
Existe um valor ecológico e um cultural a menos de 20 km do local de interesse	2 pontos
Existe um valor ecológico ou um cultural a menos de 20 km do local de interesse	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Beleza cênica (PUE:5% / PUT: 15%)</b>	
Local de interesse habitualmente usado em campanhas turísticas do país, mostrando aspectos geológicos	4 pontos
Local de interesse ocasionalmente usado em campanhas turísticas do país, mostrando aspectos geológicos	3 pontos
Local de interesse habitualmente usado em campanhas turísticas locais, mostrando aspectos geológicos	2 pontos
Local de interesse ocasionalmente usado em campanhas turísticas locais, mostrando aspectos geológicos	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Singularidade (PUE: 5% / PUT: 10%)</b>	
Ocorrência de aspectos únicos e raros no país	4 pontos
Ocorrência de aspectos únicos e raros no estado	3 pontos
Ocorrência de aspectos únicos e raros na região	2 pontos
Ocorrência de aspectos comum nas várias regiões do país	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Condições de observação (PUE: 10% / PUT: 5%)</b>	
A observação de todos os elementos geológicos é feita em boas condições	4 pontos
Existem obstáculos que tornam difícil a observação de alguns elementos geológicos	3 pontos
Existem obstáculos que tornam difícil a observação dos principais elementos geológicos	2 pontos
Existem obstáculos que praticamente impossibilitam a observação dos principais elementos geológicos	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Somente para uso educativo</b>	
<b>Potencial didático (20%)</b>	
Ocorrência de elementos geológicos que são ensinados em todos os níveis de ensino	4 pontos
Ocorrência de elementos geológicos que são ensinados nas escolas de ensino básico	3 pontos
Ocorrência de elementos geológicos que são ensinados nas escolas de ensino secundário	2 pontos
Ocorrência de elementos geológicos que são ensinados no ensino superior	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

<b>Diversidade geológica (10%)</b>	
Ocorrem mais de 5 tipos de elementos da geodiversidade (mineralógicos, paleontológicos, geomorfológicos, etc.)	4 pontos
Ocorrem 3 ou 4 tipos de elementos da geodiversidade	3 pontos
Ocorrem 2 tipos de elementos da geodiversidade	2 pontos
Ocorre apenas 1 tipo de elemento da geodiversidade	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Somente para uso turístico</b>	
<b>Potencial para divulgação (10%)</b>	
Ocorrência de elementos geológicos que são evidentes e perceptíveis para todos os tipos de público	4 pontos
O público necessita de algum conhecimento geológico para entender os elementos geológicos que ocorrem no sítio	3 pontos
O público necessita de bons conhecimentos geológicos para entender os elementos geológicos que ocorrem no sítio	2 pontos
Os elementos geológicos que ocorrem no sítio apenas são evidentes e perceptíveis para quem possui graduação em geociências	1 ponto
Não se aplica	
<b>Nível econômico (5%)</b>	
Local de interesse localizado num município com pelo menos o dobro do IDH que se verifica no estado	4 pontos
Local de interesse localizado num município com IDH superior ao que se verifica no estado	3 pontos
Local de interesse localizado num município com IDH idêntico ao se verifica no estado	2 pontos
Local de interesse localizado num município com IDH inferior ao se verifica no estado	1 ponto
Não se aplica	0 ponto
<b>Proximidade a zonas recreativas (5%)</b>	
Local de interesse localizado a menos de 5 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	4 pontos
Local de interesse localizado a menos de 10 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	3 pontos
Local de interesse localizado a menos de 15 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	2 pontos
Local de interesse localizado a menos de 20 km de uma zona recreativa ou com atrações turísticas	1 ponto
Não se aplica	0 ponto

Legenda: PUE – Potencial uso educativo. PUT – Potencial uso turístico. Fonte: Rocha *et al.* (2016)