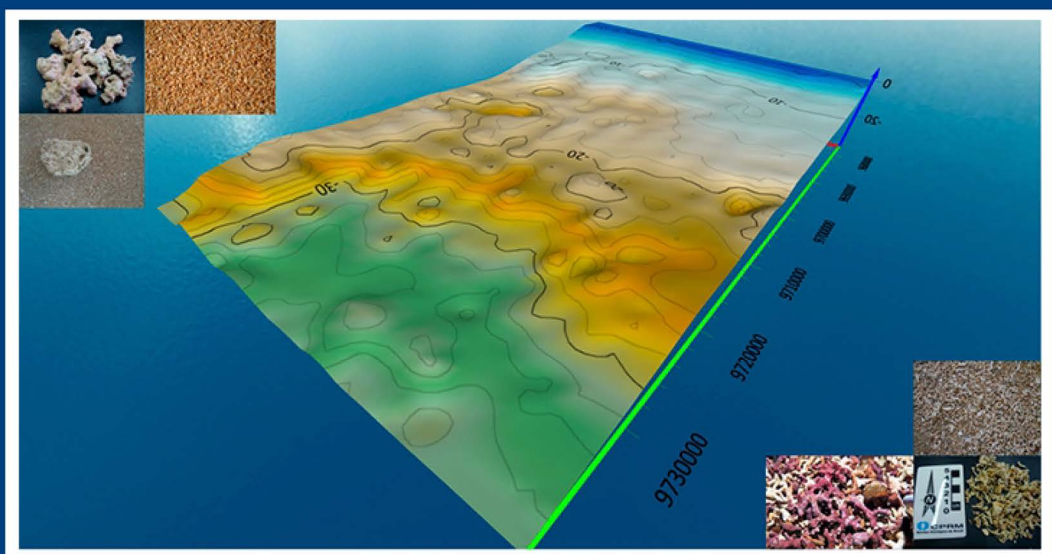


PROGRAMA OCEANOS, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA

POTENCIALIDADE DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL OESTE DO CEARÁ – SETOR BITUPITÁ



INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Recursos Minerais Marinhos, nº 04

Levantamento Geológico, Oceanográfico
e Ambiental do Potencial Mineral do
Espaço Marinho e Costeiro

RECIFE - 2022

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Adolfo Sachsida

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe da Divisão de Geologia Marinha

Luciana Felício Pereira

Chefe do Departamento Tecnológico

Neovaldo de Araujo Teixeira

Chefe do Departamento de Geologia

Lúcia Travassos da Rosa Costa

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Vladimir Cruz de Medeiros

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Marcelo Esteves Almeida

Chefe da Divisão de Projetos Especiais e Minerais Estragégicos

Ioná de Abreu Cunha

Chefe da Divisão de Geologia Econômica

Guilherme Ferreira da Silva

Chefe da Divisão de Geoquímica

Silvana de Carvalho Melo

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Edgar Shinzato

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patrícia Düringer Jacques

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Washington José Ferreira Santos

Chefe do Departamento de Apoio Técnico

Maria José Cabral Cezar

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Lucas Victor de Alcantara Estevão

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
I PROGRAMA OCEANOS, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA I

LEVANTAMENTO GEOLÓGICO, OCEANOGRÁFICO E AMBIENTAL
DO POTENCIAL MINERAL DO ESPAÇO MARINHO E COSTEIRO

POTENCIALIDADES DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL OESTE DO CEARÁ – SETOR BITUPITÁ

ORGANIZADORES

Ronaldo Gomes Bezerra
George Satander Sá Freire
Hortência Maria Barboza de Assis
Márcio Martins Valle
Rafael Corrêa de Melo

INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Recursos Minerais Marinhos, nº 04



Recife
2022

REALIZAÇÃO

Superintendência Regional de Recife (SUREG-RE)
Residência de Fortaleza (REFO)

ORGANIZAÇÃO

Ronaldo Gomes Bezerra
George Satander Sá Freire
Hortência Maria Barboza de Assis
Marcio Martins Valle
Rafael Correa de Melo

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação técnica Nacional

Hortência Maria Barboza de Assis
Ronaldo Gomes Bezerra

Coordenação técnica - UFC

George Satander Sá Freire

Colaborador REFO/CPRM

Felipe Rocha Abreu
Wanessa Sousa Marques

Colaboradores – UFC

Carlos Fernando Andrade Soares Júnior
João Capistrano de Abreu
Sara Albano Rodrigues
Aline Alves Aragão
Antônio Solón Mendes Pareira

Elenilton Bezerra Uchoa
Luã Barroso Manezes
Inácio Ocinaí de Lima Neto
Narelle Maia de Almeida

PROJETO GRÁFICO/EDITORIAÇÃO

Capa (DIMARK)

Washington José Ferreira Santos

Miolo (DIEDIG)

Andréia Amado Continentino
Agmar Alves Lopes

Diagramação (SUREG-RE)

Raphael Silva Tavares

Revisão Final

Irinéa Barbosa da Silva

FOTOS DA CAPA

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

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

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P861 Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental oeste do Ceará : setor Bitupitá / Organizadores Ronaldo Gomes Bezerra, George Satander Sá Freire, Hortência Maria Barboza de Assis, Márcio Martins Valle e Rafael Corrêa de Melo.
Recife : CPRM, 2022.

1 recurso eletrônico : PDF. – (Informe de recursos minerais. Série Recursos minerais marinhos ; 4)

ISBN 978-65-5664-234-5

1.Geologia marinha. 2.Recursos Minerais. I. Bezerra, Ronaldo Gomes. II. Freire, George Satander Sá. III. Assis, Hortência Maria Barboza de. IV. Valle, Márcio Martins. V. Melo, Rafael Corrêa de. VI. Título.

CDD 553.7

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Jéssica dos Santos Gonçalves CRB 5662

APRESENTAÇÃO

No contexto de estudos voltados para o ambiente marinho raso na Plataforma Continental Brasileira (PCB), o presente informe de recursos minerais objetiva divulgar uma síntese dos resultados das atividades do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), nos campos da geologia marinha, pesquisa, prospecção e economia mineral. Tais resultados são apresentados em diversos tipos de mapas, artigos bibliográficos e relatórios. Com abordagem temática relacionada à potencialidade estratégica dos bens minerais marinhos da Plataforma Continental do Brasil, este informe representa o quarto exemplar, continuando a série Recursos Minerais Marinhos com os seguintes títulos:

- 1) Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental Leste do Ceará;
- 2) Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental do Rio Grande do Norte: setor Touros;
- 3) Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental rasa de Pernambuco;
- 4) Potencialidade dos granulados marinhos da plataforma continental rasa Oeste do Ceará: setor Bitupitá.

A aquisição de exemplares desse informe poderá ser efetuada diretamente na biblioteca da Residência de Fortaleza (REFO) ou na rede de bibliotecas do SGB-CPRM, através do Serviço de Atendimento aos Usuários (SEUS) ou no Repositório Institucional de Geociências do Serviço Geológico do Brasil (RIGEO). Os endereços e e-mails estão listados na contracapa.

Esteves Pedro Colnago

Diretor-Presidente

Márcio José Remédio

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Luciana Felício Pereira

Chefe da Divisão de Geologia Marinha

RESUMO

Nos últimos anos, a compreensão do ambiente marinho, com suas complexidades e riquezas, passou a ser meta indispensável para a valorização territorial, proteção, regulação e aproveitamento dos recursos naturais de forma sustentável, em grande parte dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. O mapeamento dessas áreas é, portanto, papel estratégico de grande importância no inventário e na conservação das riquezas naturais no território nacional. Neste sentido, o Projeto Plataforma Rasa do Brasil realizou mapeamentos geológicos e geofísicos de alta resolução em algumas áreas no Nordeste do Brasil. Dentre elas, a presente pesquisa realizada na Plataforma Continental Oeste do estado do Ceará, no setor Bitupitá. A área está localizada no extremo oeste da plataforma, próximo à divisa com o estado do Piauí. A pesquisa foi realizada em parceria com o Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), com o objetivo de conhecer o ambiente marinho, através de levantamentos diretos e indiretos, e mapear os recursos minerais para o estudo de suas características e potencialidades. Os recursos minerais marinhos podem vir a ser uma excelente alternativa como reserva de insumos e matérias primas de extrema necessidade para o país, reduzindo a dependência de importação de alguns setores, como por exemplo o mercado de fertilizantes, entre outros. Foram mapeados aproximadamente 3.000 km² de área, com amostragem geológica superficial em escala 1:100.000, e levantamento batimétrico monofeixe. Na caracterização sedimentológica, foram realizadas análises físicas e químicas para o estudo da granulometria, no entendimento do regime energético do ambiente deposicional, da sua composição e origem. A plataforma continental cearense no setor Bitupitá, apresenta sedimentação grosseira, com predomínio de sedimentos cascalhosos (45,1%), areia (37,8%) e cascalho (16,4%), nessa ordem, típica de ambiente de alta energia. Das 1012 amostras de sedimentos analisadas, 456 foram classificadas como sedimento cascalhoso, 382 como areia, 166 como cascalho, 5 como areia argilosa (0,5%) e 1 como areia siltosa (0,1%). No estudo dos minerais pesados em 25 amostras de sedimentos siliciclásticos, foram identificados 18 minerais, com destaque para a ocorrência de cinco principais com médias acima de 3%, são eles: Ilmenita (49,9%), Turmalina (29,1%), Estauroilita (6,4%), Epidoto (3,5%) e Monazita (3,4%). Os sedimentos detríticos, apesar de ocorrerem por toda área, apresentam percentuais de óxido de sílica acima de 50%, com profundidades menores do que 15 metros ou maiores do que 30 metros. Os sedimentos bioclásticos marinhos ocorrem em praticamente toda a área, sendo mais frequentes e de melhor qualidade os localizados entre 15 e 30 metros de profundidade. Ocorrem, também, com abundância, sedimentos biogênicos, com a presença das algas calcárias vermelhas do tipo lithothamnium e verdes do gênero Halimeda, além de fragmentos e carapaças carbonáticas de outros organismos marinhos. A caracterização geoquímica revelou a presença de elementos maiores e menores de grande interesse para o aproveitamento do carbonato de cálcio e magnésio com alto grau de pureza e a presença de elementos menores ou oligoelementos, de grande importância para alguns setores como a agricultura e pecuária. Os teores de cálcio e magnésio apresentaram valores médios significativamente mais altos em comparação com jazidas em aproveitamento e com o produto já registrado no Ministério da Agricultura como fertilizante, chegando a 37,9% de cálcio e 4,1% de magnésio em média contra 32% e 2% do produto registrado. A região intermediária da área da pesquisa, entre 15 e 30 metros, representa uma sedimentação biogênica com altos teores e, portanto, alvo de grande potencial para diversos setores da indústria (agropecuária, cosmética, purificação de água, dentre outras). Da mesma forma, os sedimentos siliciclásticos em menor grau possui potencial para aproveitamento tanto de minerais pesados como de agregados para construção civil ou recuperação de praias erodidas, com volumes suficientes para séculos de utilização. Não obstante, diversas outras pesquisas precisam ser realizadas para o detalhamento dos alvos de interesse geoeconômico e preparação de estudos de viabilidades técnica, econômica e ambiental.

ABSTRACT

Understanding the marine environment, its complexities and richness has become, in recent years, indispensable goals for territorial enhancement, protection, regulation and sustainable use of natural resources in most developed and developing countries. The mapping of these areas is, therefore, a strategic role of great importance in the inventory and conservation of natural resources in the national territory. In this sense, the Plataforma Rasa do Brasil Project carried out high-resolution geological and geophysical mappings in some areas in northeastern Brazil. Among them, the present research, carried out on the Western Continental Shelf of the State of Ceará, in the Bitupitá sector. The area is located at the western end of the platform, close to the border with the State of Piauí. The research was carried out in partnership with the UFC's Laboratory of Marine and Applied Geology (LGMA) with the aim of getting to know the marine environment through direct and indirect surveys and mapping mineral resources to study their characteristics and potential. Marine mineral resources may turn out to be an excellent alternative as a reserve of inputs and raw materials that are extremely necessary for the country, reducing the dependence on imports of some sectors, such as the fertilizer market, among others. Approximately 3.000 km² of area were mapped with high resolution surface geological sampling (1:100,000) and bathymetry. In the sedimentological characterization, physical and chemical analyzes were carried out for the study of granulometry in the understanding of the energy regime of the depositional environment, its composition and origin. The Continental Shelf in the Bitupitá sector presents coarse sedimentation, with a predominance of gravel sediments (45.1%), sand (37.8%) and gravel (16.4%), in this order, typical of a high energy environment. Of the 1012 sediment samples analyzed, 456 were classified as Gravel Sediment, 382 as Sand, 166 as Gravel, 5 as Argillaceous Sand (0.5%) and 1 as Silt Sand (0.1%). In the study of heavy minerals in 25 samples of siliciclastic sediments, 18 minerals were identified, with emphasis on the occurrence of five main minerals with averages above 3% among the analyzed samples. They are, in descending order, Ilmenite (49.9%), Tourmaline (29.1%), Staurolite (6.4%), Epidote (3.5%) and Monazite (3.4%). The detrital sediments, despite occurring throughout the area, present percentages of silica oxide above 50% in vast areas below 15 meters and above 30 meters in depth. Marine bioclastic sediments occur in practically the entire area, being more frequent and of better quality those located between 15 and 30 meters deep. In this area there are abundant biogenic sediments with the presence of limestone algae lithothamnium and halimeda, in addition to fragments and carbonate shells of marine organisms. The geochemical characterization revealed the presence of major and minor elements of great interest for the use of calcium and magnesium carbonate with a high degree of purity and the presence of minor elements or trace elements of great importance for some sectors such as agriculture and livestock. The calcium and magnesium contents showed significantly higher average values compared to deposits being used and with a product already registered with the Ministry of Agriculture as a fertilizer, reaching 37.9% of Calcium and 4.1% of Magnesium on average against 32% and 2% of the registered product. The intermediate region of the research area, between 15 and 30 meters, represents, therefore, a biogenic sedimentation with high contents and, therefore, targets of great potential for several sectors of the industry (agriculture, cosmetics, filtration, among others). Likewise, siliciclastic sediments to a lesser degree have potential for the use of both heavy minerals and aggregates for civil construction or recovery of eroded beaches. Sediments with sufficient volumes for up to centuries of use. However, several other studies need to be carried out to detail the targets of geoeconomic interest and prepare technical, economic and environmental feasibility studies.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. ÁREA DE PESQUISA	12
2.1. Condições Climáticas.....	13
2.2. Parâmetros Oceanográficos.....	14
2.3. Contexto Geológico Regional – Litoral Oeste do Ceará.....	15
2.3.1. Província Borborema.....	15
2.3.2. Domínio Médio Coreaú.....	15
2.3.2.1. Grupo Martinópole.....	15
2.3.2.2. O Complexo Granja.....	16
2.3.2.3. Grupo Jaibaras.....	16
2.3.3. Domínio Ceará Central.....	17
2.3.3.1. Complexo Ceará.....	17
2.3.3.2. Complexo Canindé do Ceará.....	17
2.3.3.3. Complexo Tamboril - Santa Quitéria.....	17
2.3.4. Província Costeira e Margem Continental.....	17
2.3.4.1. Grupo Barreiras.....	17
2.3.4.1.1. Formação Camocim.....	17
2.3.5. Coberturas Cenozóicas Inconsolidadas.....	18
2.4. Plataforma Continental Brasileira.....	18
2.5. Plataforma Continental do Nordeste Brasileiro.....	19
2.6. Plataforma Continental do Ceará.....	19
3. MÉTODOS	20
3.1. Sedimentologia.....	20
3.1.1. Amostragem de sedimentos.....	20
3.1.2. Análise granulométrica e composicional.....	20
3.1.3. Carta textural.....	21
3.1.4. Análise geoquímica.....	22
3.1.5. Análise do CaCO ₃	23
3.1.6. Determinação dos minerais pesados.....	24
3.1.7. Componentes Bióticos.....	24
3.2. Batimetria.....	24
3.3. Cartografia.....	25
3.3.1. Carta batimétrica.....	25
4. BREVE FUNDAMENTAÇÃO E TRABALHOS ANTERIORES	26
4.1. Recursos Minerais na Plataforma.....	26
4.2. Trabalhos anteriores.....	28
4.3. Trabalhos realizados com dados GRANMAR.....	28
4.4. Trabalhos com <i>Lithothamnium</i> no Brasil.....	29
4.5. Produtos como Resultado Direto do Projeto GRANMAR.....	30
5. MAPEAMENTO DOS RECURSOS MINERAIS MARINHOS	31
5.1. Amostragem.....	32
5.2. Batimetria.....	33

5.3. Sedimentologia	34
5.3.1. Teores de Carbonato de Cálcio (CaCO ₃).....	38
5.3.2. Ocorrências siliciclásticas	39
5.3.2.1. Bitupitá	39
5.3.3. Ocorrências bioclásticas.....	41
5.3.3.1. Caracterização das amostras de sedimentos marinhos bioclásticos	41
5.3.3.2. Componentes biogênicos.....	42
5.4. Geoquímica	42
5.4.1. Comportamento do dióxido de silício (SiO ₂).....	42
5.4.2. Comportamento óxido de cálcio (CaO)	45
5.4.3. Razão MgO/CaO	47
5.5. Integração dos dados	49
6. AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE	
DOS RECURSOS MINERAIS MARINHOS.....	56
6.1. Substâncias de interesse na ZEE brasileira.....	57
6.2. Legislação sobre trabalhos na plataforma continental e a regulação de exploração dos recursos minerais	60
6.3. Agregados Marinhos no Brasil	61
6.4. Agregados Marinhos em outros Países.....	61
6.5. A Importância dos Agregados Marinhos.....	65
7. CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

As características geográficas e de ocupação territorial conferem ao Brasil uma posição estratégica privilegiada em termos de exploração sustentável dos recursos do mar, incluindo não só a pesca, o transporte, o lazer e a segurança, mas também a exploração mineral (GALVÃO *et al.*, 2007). Os recursos minerais marinhos prioritários de valor socioeconômico são caracterizados pelos agregados ou granulados (areia e cascalho), que são de especial interesse para as atividades de construção civil e recuperação de praias erodidas, dentre outras.

Os granulados marinhos podem ser de origem siliciclástica ou bioclástica. Os siliciclásticos compreendem areia e cascalho de origem continental e excedem em volume e em potencial o valor de qualquer outro recurso não vivo, exceto óleo e gás. Sua utilização é dividida entre a indústria da construção civil e a recuperação de praias erodidas (SOUZA *et al.*, 2009). Já os granulados bioclásticos são formados, principalmente, por algas calcárias e seus fragmentos, sendo compostos basicamente por carbonato de cálcio e de magnésio, e mais de 20 oligoelementos presentes em quantidades variáveis, principalmente Fe, Mn, B, Ni, Cu, Zn, Mo, Se e Sr (DIAS, 2000). Sua utilização varia desde aplicações na agricultura, na potabilização de águas para consumo, nas indústrias de cosméticos, de fertilizantes e de medicamentos, nos implantes em cirurgias ósseas e na nutrição animal, dentre outras. (GALVÃO *et al.*, 2007).

No Brasil, a plataforma continental abriga um dos mais longos e contínuos ambientes de deposição carbonática do mundo, com pouca profundidade e inteiramente coberta por sedimentos carbonáticos biogênicos e litoclásticos. Apesar da abundância desses recursos minerais, ainda é modesta a sua utilização. Embora exista hoje um número expressivo de solicitações para a lavra de bioclastos e siliciclastos na Plataforma Continental Brasileira (PCB), ainda há um caminho a se desenvolver quanto à mineração marinha, suas responsabilidades institucionais, a definição de normas e procedimentos que levem a uma adequada exploração, bem como posterior acompanhamento e fiscalização dos impactos da atividade. A exploração de granulados marinhos requer estudos prévios de avaliação da potencialidade exploratória e análise dos impactos ambientais, no sentido de viabilizar uma gestão racional e equilibrada desses recursos, obedecendo aos preceitos da sustentabilidade.

A França, por exemplo, encontrou diversas aplicações dos granulados marinhos na indústria da construção e de

obras públicas, sendo considerado como indispensável para a construção de estradas, calçadas e praças públicas, ferrovias, bondes, áreas industriais, na construção de casas residenciais, oficinas, fábricas, escolas e hospitais. A cada ano, são necessárias mais de 200 milhões de toneladas de agregados para manter as estradas existentes no país, construir novas estradas e trabalhar em redes de saneamento, cabos elétricos enterrados, suprimentos de gás etc. Os agregados estão presentes em todos os lugares na vida dos franceses, com necessidade anuais de 400 milhões de toneladas, sendo: 7 toneladas anuais por habitante e consumo de 20 kg por dia para cada francês. (Fonte: UNPG-França).

Entre os recursos minerais de valor socioeconômico da plataforma continental brasileira figura, em primeiro plano, a extração comercial dos agregados (areia e cascalho), devido à sua especial importância na recuperação de praias erodidas e como insumos para a construção civil, além das aplicações industriais e agropecuárias. Os projetos a serem realizados nesse campo devem estar voltados para a delimitação desses depósitos, suas respectivas potencialidades em termos de volume, impacto potencial da mineração sobre o ambiente e a influência sobre os processos costeiros e os adequados estudos biológicos e ambientais.

Diante deste contexto, vale salientar a participação do SGB-CPRM em pesquisas marinhas, desde o sucesso do Projeto REMAC, em conjunto com instituições nacionais (Petrobras, DNPM, DHN e CNPq) e internacionais (*Woods Hole Oceanographic Institution, Lamont-Doherty Geological Observatory*, dentre outros). Porém, sua atuação nas pesquisas marinhas passou a ter maior intensidade e autonomia na década de 1990, quando em 1994, a CPRM tornou-se o órgão oficial da geologia brasileira (Serviço Geológico do Brasil) e as atribuições sobre a Geologia Marinha, antes do DNPM, passaram para sua atribuição, criando a Divisão de Geologia Marinha e estruturando-se para realizar pesquisas ao longo da plataforma continental, em regime de cooperação com outras instituições e centros de pesquisa.

O Projeto Granulados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Brasil (GranMar), também conhecido como Projeto Plataforma Rasa do Brasil tem, dentre outros objetivos, o de realizar pesquisas voltadas ao disciplinamento do uso dos recursos minerais marinhos, através do reconhecimento do potencial da PCB como fonte de recursos minerais, sobretudo granulados

siliciclásticos e bioclásticos, na escala de 1:100.000, até a profundidade de 30/40 metros.

É executado pelo SGB-CPRM, no contexto do Programa de Avaliação da Plataforma Continental Brasileira (REMPLOC) da Secretaria de Geologia e Mineração do Ministério de Minas e Energia (SGM/MME), integrando

as ações do Plano Setorial para Recursos do Mar (PSRM). O Projeto Plataforma Rasa do Brasil está inserido no Programa Mar, Zona Costeira e Antártica, executado pelo SGB-CPRM, através de suas Unidades Regionais, financiado com recursos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

2. ÁREA DE PESQUISA

A pesquisa no Ceará foi desenvolvida com pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC), por meio do contrato 089/PR/07 firmado entre o SGB-CPRM e a Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura (FCPC).

Ceará Oeste – Bitupitá

Localizado no extremo oeste do litoral e da plataforma continental do estado do Ceará, a área pesquisada encontra-se no mar de frente para o município da Barroquinha, na microrregião do litoral de Camocim e Coreaú, na mesorregião do noroeste cearense próximo a cidades como Camocim e Jericoacoara.

Barroquinha é último município do litoral oeste cearense, distante 395 km de Fortaleza, fazendo divisa com o estado do Piauí, possuindo três distritos: Barroquinha

(sede), Araras e Bitupitá. Bitupitá é um pequeno distrito de Barroquinha, onde localiza-se a praia mais famosa do município, que denomina a folha da Sudene, em escala 1:100.000 (SA.24-Y-A-V) e o mapa já publicado pelo SGB-CPRM, que pode ser encontrado no Repositório Institucional de Geociências (RIGEO) (<http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20509>). Sua principal atividade é a pesca artesanal. Possui uma pequena infraestrutura com pousadas e pequenos hotéis, fruto de um movimento turístico ainda incipiente. As praias são semidesertas e de areias escuras próximo da linha da água. Apesar de possuir duas desembocaduras nas proximidades do povoado, a Barra do Timonha e a Barra dos Remédios, a melhor opção para acesso do mar ao continente ainda é a desembocadura do Rio Coreaú, em Camocim, cerca de 50 km a leste (Figura 2.1).

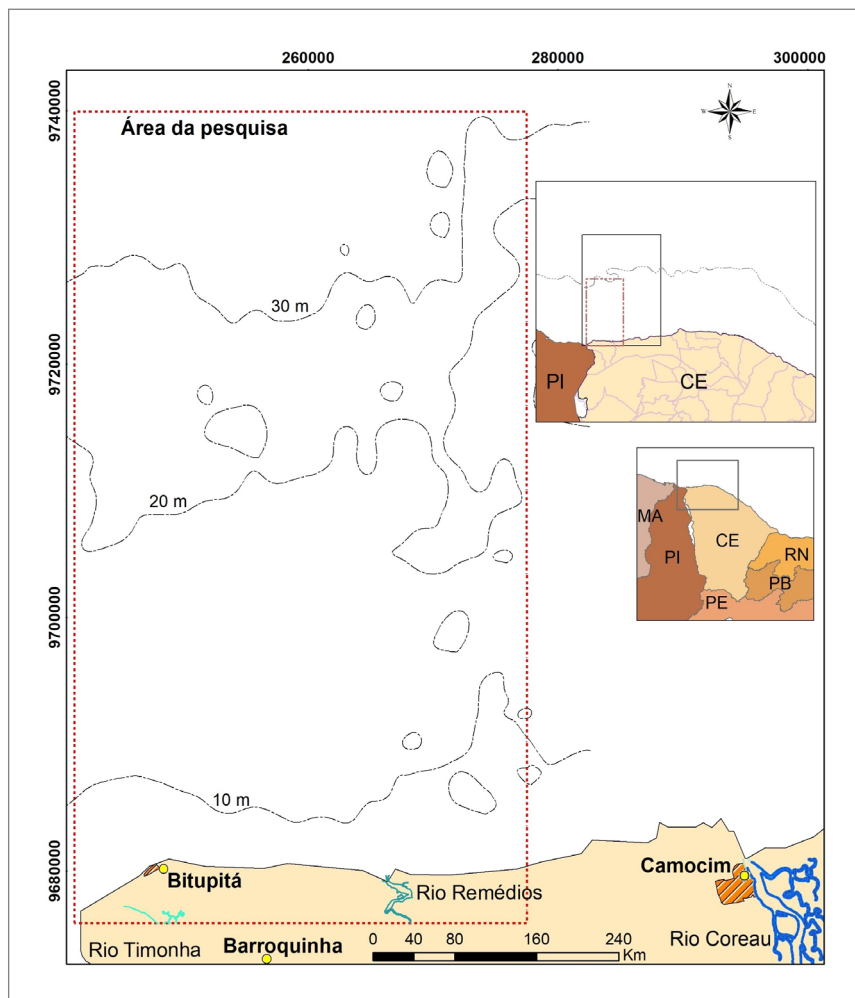


Figura 2.1 - Área da pesquisa, Folha Bitupitá no Município de Barroquinha, extremo oeste do Ceará. Fonte: Os autores

Camocim é o município de maior desenvolvimento e com melhor infraestrutura na região mais próxima da área pesquisada. População de 63 mil habitantes, 131 anos de história e sua economia encontra-se na 60ª posição dentre os 184 municípios do Ceará. Está situada na margem esquerda do Rio Coreaú, que possui uma desembocadura de mais de 400 metros de largura, porém apresenta baixas profundidades no canal de entrada pelos efeitos da movimentação sedimentar da bacia hidrográfica do Rio Coreaú.

O Porto de Camocim tem uma história longa de construção que data desde o Império, no século XIX, passando por importantes intervenções nas décadas de 1930 e 1960, após 20 anos da emancipação política da cidade, ocorrida em 29 de setembro de 1879, foi criada a Delegacia, que em seguida virou a Capitania dos Portos, pelo Decreto nº 3.334, de 5 de julho de 1899, do Presidente da República Manuel Ferraz de Campos Salles, para exercer no domínio marítimo e fluvial da União como estabelecimento naval, tendo a seu cargo a polícia, o regimento e a conservação do porto de Camocim.

2.1. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Bacias hidrográficas e precipitação

O litoral oeste cearense está englobado em cinco bacias hidrográficas, sendo: Coreaú, Acaraú, Litoral, Curu e Metropolitana.

A bacia hidrográfica do Rio Coreaú possui uma área de drenagem de 10.633,66 km², correspondente a 7% do território cearense, englobando tanto a bacia drenada pelo Rio Coreaú e seus afluentes, com 4.446 km², como também o conjunto de bacias independentes e adjacentes

(SRH, 2019), apresentando, entre os anos de 2014 e 2018, uma precipitação média anual de 934,58 mm.

As bacias Coreaú, Acaraú, Litoral, Curu e Metropolitana, apresentaram, entre os anos de 2008 a 2017, uma precipitação média anual de 849,32 mm, 737,7 mm, 566,86, 615,79 e 531,36, respectivamente (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2020), com médias mensais variando de 2,38 mm a 798,54 mm no mesmo período (Figura 2.2)

A área está inserida na região climática tipo AW, segundo classificação de Köppen, com clima designado de tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas de verão e outono (Assis *et al.*, 2007). A precipitação média anual entre 2008 e 2017, na região referente ao litoral Oeste, apresentou máxima de 1484,7 mm e mínima de 127,3 mm.

A partir dos dados, é perceptível uma diminuição na ocorrência de chuvas entre os meses de junho e dezembro, principalmente no mês de setembro e uma maior incidência nos meses de fevereiro, março e abril.

A série histórica de médias de temperatura, de 1981 a 2010, demonstram os meses junho, julho e agosto com as temperaturas médias anuais mais frias, entre 22,7°C e 23,1°C, e os meses de outubro, novembro e dezembro com as maiores temperaturas, variando de 31,2° até 31,5°C (Figura 2.3).

A evaporação total no mesmo período apresentou-se elevada, com média anual de 1.702,9 mm e médias mensais variando de 71,6 mm a 207,4 mm para os meses de abril e outubro, respectivamente (Figura 2.4). Tais resultados evidenciam que o período de março a abril apresenta um balanço hídrico positivo, coincidindo as menores taxas de evaporação com as maiores de precipitação pluviométrica.

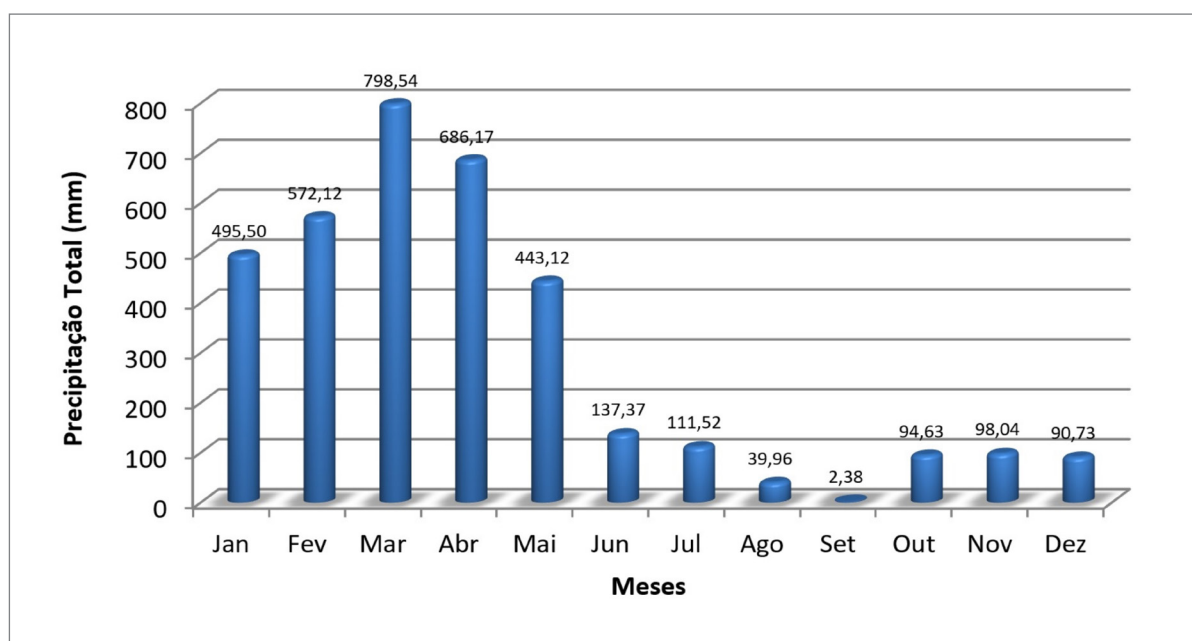


Figura 2.2 - Médias mensais de precipitação das sub-bacias do litoral oeste do Ceará durante o período de 2008 a 2017. Fonte: FUNCEME, 2020.

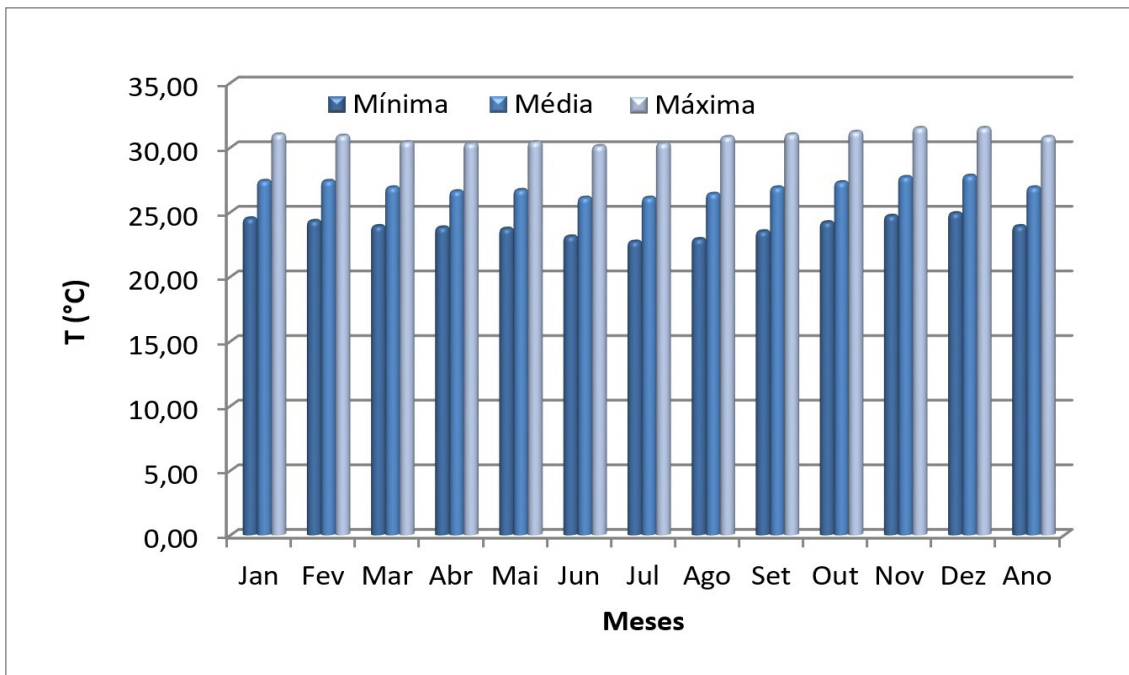


Figura 2.3 - Médias mensais de temperaturas mínimas, médias e máximas durante o período de 1981 a 2010. Fonte: INMET, 2018.

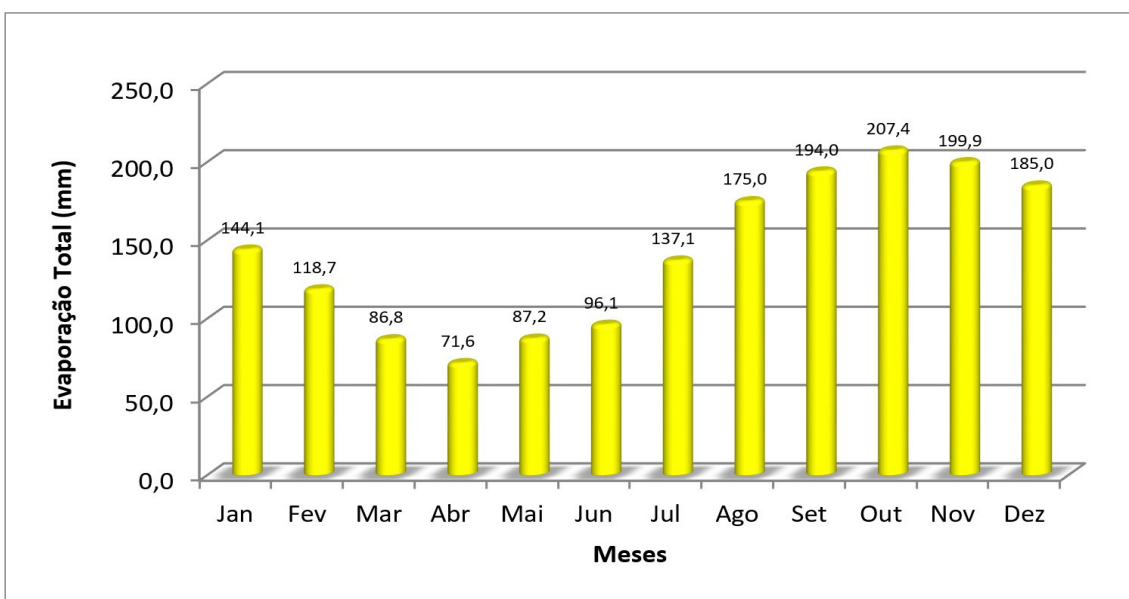


Figura 2.4 - Médias mensais de evaporação durante o período de 1981 a 2010. Fonte: INMET, 2018.

2.2. PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS

A temperatura da superfície do mar (TSM) é maior nas proximidades da linha de costa, variando de aproximadamente 28 a 30°C. Ao se afastar, a temperatura tende a ficar entre 28 e 29°C, no outono e no verão. Já para o período de inverno e primavera, as temperaturas tendem a diminuir, variando entre 26°C e 28°C (IBGE, 2011).

Os ventos na região do Mucuripe, em Fortaleza, variam entre NE e SE, de acordo com o deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), segundo a Companhia Docas do Ceará (CDC, 2016).

Segundo o INMET (2018), com base na série de dados observados entre 1981 e 2010, o regime de ventos na região de Fortaleza possui uma direção preferencial para E, com intensidade variando de 2,3 m/s a 4,0 m/s, tendo os meses de setembro, outubro e novembro como os que apresentam maior intensidade, em torno de 4,0 m/s.

O Porto de Fortaleza apresenta marés com preamar média de sizígia (M.H.W.S) de 2,82 m e preamar média de quadratura (M.H.W.N) de 2,20 m, sendo o nível médio (N.M) de 1,55 m. Já as baixa-mar sobre o nível de redução são de 0,28m e 0,90m (sizígia e quadratura, respectivamente) (PDZ/Porto de Fortaleza, 2010) (Figura 2.5).

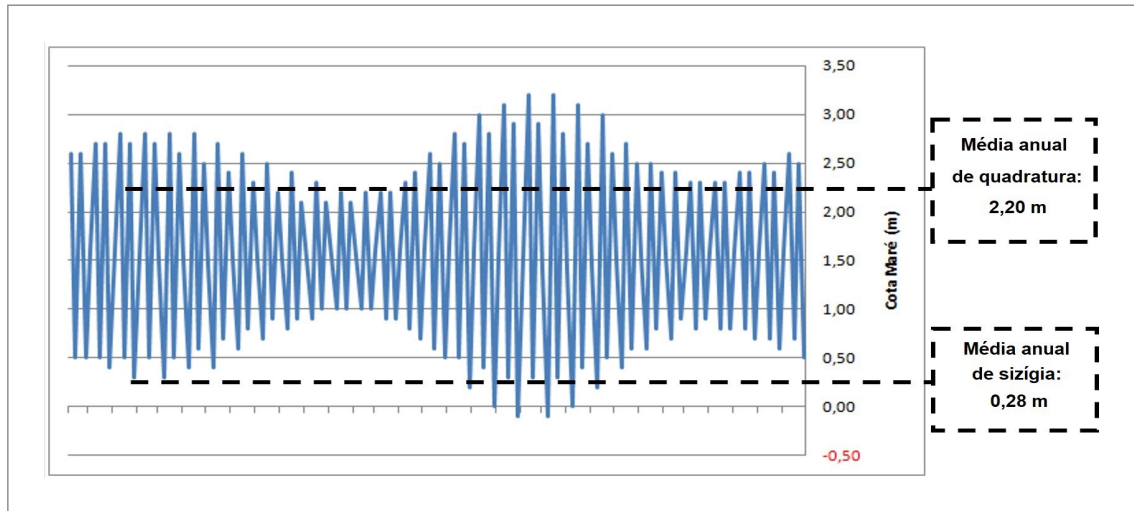


Figura 2.5 - Maregrama no mês de janeiro/2009 – Porto de Fortaleza. Fonte: PDZ/Porto de Fortaleza (2010).

As correntes marinhas apresentam intensidade média variando de 0,34 a 0,54 km/h e valor absoluto máximo de 0,8 km/h a 1,23 km/h a depender da profundidade (variando entre 2m e 14m), com direções NW e WNW.

A salinidade apresenta-se em concentrações elevadas, variando de 39 a 40 g/kg.

Segundo a CDC (2016), o regime de ondas incidentes na região divide-se em dois períodos distintos: um entre dezembro e abril, com direções de ondas predominantes de N e NE, coincidindo com uma maior influência das ondas tipo marulho (*swell*); e outro de maio a novembro, com direções predominantes de E e SE, influenciadas pelos ventos locais.

As alturas significativas das ondas (H_s) apresentam uma frequência de mais de 17%, variando entre 1,1 e 1,2 m. Com uma frequência de aproximadamente 48%, o período médio (T_m) ocorre entre 5 e 6 segundos. Já a direção de propagação apresenta-se entre 90 e 105 graus, numa frequência de aproximadamente 73%.

2.3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL - LITORAL OESTE DO CEARÁ

A área de estudo compreende o litoral oeste do estado do Ceará, inserida na parte setentrional da Província Borborema (PB) (ALMEIDA *et al.*, 1977) que se caracteriza, mais precisamente, por coberturas cenozoicas inconsolidadas e embasamentos cristalinos dos domínios Médio Coreaú (DMC) e Ceará Central (DCC).

2.3.1. Província Borborema

A Província Borborema possui superfície aproximada de 450.000 km² do Nordeste Brasileiro, delimitada a norte e leste pela Província Costeira, a sul pelo Cráton São Francisco e a oeste pela Província Parnaíba. Segundo Campelo

(1999), a evolução da província pode abrigar um histórico de amalgamação de microplacas e terrenos, consolidada ao final do evento Brasileiro. A extensa rede de cisalhamentos é prova da grande mobilidade a que foi submetida. Caracterizada por coberturas sedimentares fanerozoicas, complexos gnáissico-migmatíticos paleoproterozoicos e arqueanos e corpos granitoides brasileiros. É dividida em três subprovíncias: Setentrional, Transversal e Meridional (VAN SCHMUS *et al.*, 2011) (Figura 2.6).

2.3.2. Domínio Médio Coreaú

O Domínio Médio Coreaú (DMC) está situado na porção noroeste do estado do Ceará e a nordeste do estado do Piauí. Limita-se a oeste pela Província Parnaíba, a sudeste pelo DCC e a nordeste pelo Oceano Atlântico. Nesse domínio, ocorrem dois cinturões móveis de idade toniana, o do Grupo Martinópole (metavultanosedimentar mais arcoseano) e do Grupo Ubajara (metapelítico-carbonático). É constituído, também, por uma sequência de rochas vulcano-sedimentares da Unidade Saquinho (SANTOS *et al.*, 2008) e ortognaisses e migmatitos paleoproterozóicos derivados de suítes do tipo TTG (CABY e ARTHAUD, 1986; SANTOS *et al.*, 2002) relacionados ao Complexo Granja (Brito Neves, 1983), e sucessões vulcano-sedimentares do Grupo Jaibaras. No limite sudeste do DMC, ocorre uma sequência de corpos graníticos, os plutons, Mocambo e Meruoca (SIQUEIRA *et al.*, 2014). Ainda na porção noroeste do DMC, verifica-se o plúton Chaval, intrudido no Complexo Granja; alongado paralelamente ao *trend* NE-SW, tem-se o plúton Tucunduba (SANTOS *et al.*, 2008).

2.3.2.1. Grupo Martinópole

Segundo Prado *et al.* (1981), o Grupo Martinópole divide-se em três formações, da base para o topo: São

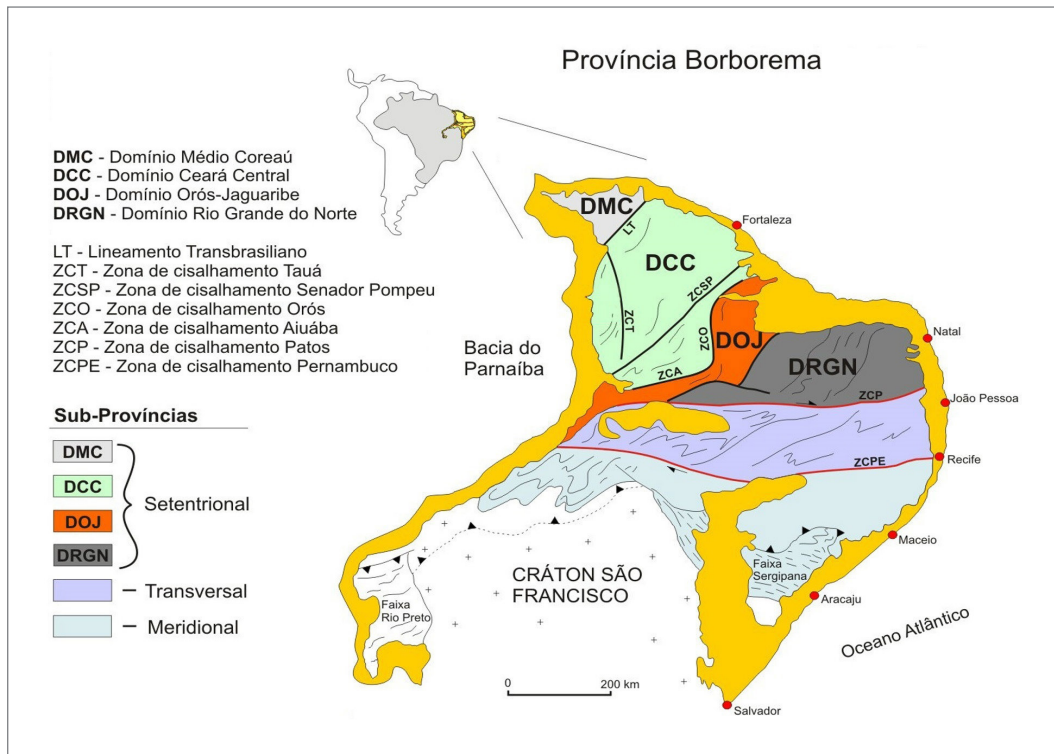


Figura 2.6 - Subprovíncias e domínios geotectônicos da porção setentrional da Província Borborema. Adaptada de Geologia e Recursos Minerais da Folha Crateús. Compartimentação da subprovíncia setentrional segundo Cavalcante (1999).

Joaquim, Covão e Santa Terezinha. Posteriormente acrescida a porção basal, a Formação Goiabeira (não representada na área de estudo). A Formação São Joaquim é constituída de metacalcário e metariolito (rochas metavulcânicas félsicas) precambrianos. Ocorrem xistos da Formação Covão. A Formação Santa Terezinha é formada por migmatito, metagranito, metagranodiorito, metatonalito e, ainda, de metatrandhjemito.

O Granito Chaval aflora intrudindo o Grupo Martínpole, principalmente na Formação Goiabeira. Devido à cobertura sedimentar fanerozóica e aos depósitos recentes, sua área aflorante é reduzida e seu limite oriental é marcado pela Zona de Cisalhamento Santa Rosa (GORAYEB *et al.* 2011). A Suíte intrusiva Chaval é caracterizada, na área de estudo por granodiorito, quartzo-sienito e quartzomonzonito.

Segundo Santos *et al.* (2008), o plúton Tucunduba é um dos granitos do magmatismo brasileiro que ocorrem no DMC, é limitado pelas falhas Água Branca e Senador Sá. Ainda de acordo com esses autores, o corpo Tucunduba é representado por granito e granodiorito alongados na direção paralela ao *trend* NE-SW.

2.3.2.2. O Complexo Granja

O Complexo Granja é afetado por paragneisses e granulitos, por metamorfismo de médio a alto grau, datado do Paleoproterozóico (unidade mais antiga do DMC), com paragneisses e granulitos de idades de 2,0 a 2,2 Ga. O

embasamento da região de Granja pode ser dividido em três seqüências: Seqüência I, representada por uma suíte de rochas com afinidade TTG; Seqüência II, composta de granulitos, kondalitos e kinzigitos; e Seqüência III, formada pelos migmatitos (SANTOS *et al.*, 2001). Esse complexo é caracterizado pela presença de migmatito, metagranito, metagranodiorito, metatonalito, além de enderbita, gnaiss granulítico e kinzigito, classificados como da Seqüência II.

2.3.2.3. Grupo Jaibaras

A estratigrafia da Bacia do Jaibaras é marcada por duas seqüências distintas: a Alfa Inferior (Ediacaranocambriano), representada pelas formações Massapê (conglomerados e brechas polimíticas), Pacujá (arenitos finos e rochas pelíticas) e Parapuá (vulcânicas bimodais); e Alfa Superior (Cambro-Ordoviciano), representada por parte da Formação Parapuá e pela Formação Aprazível (brechas e conglomerados (PARENTE *et al.*, 2004). Essa bacia é datada como sendo de estágio transicional entre Proterozóico-Fanerozóico da PB, sendo as formações de idade cambro-ordoviciano.

Na Formação Massapê ocorrem conglomerado suportado por clastos, que variam de tamanho, desde seixos até matacões, e são compostos por fragmentos angulosos do embasamento cristalino e do Grupo Ubajara (MELLO, 1978; COSTA *et al.*, 1979; PARENTE *et al.*, 2004).

A Formação Pacujá é caracterizada pela presença de arenito lítico, arenito arcossiano e, subordinadamente,

folhelho e grauvaca. As rochas da Formação Pacujá situam-se ao longo de todo eixo principal da Bacia de Jaibaras (PEDROSA JUNIOR, 2015). Os arenitos arcossianos ocorrem associados com hematita. Nessas rochas podem ser encontrados, ainda, cristais de zircão isolados.

A Formação Aprazível ocorre ao longo de falhas marcadas por relevo escarpado do Rifte de Jaibaras, onde recobrem discordantemente as rochas das formações Massapê, Pacujá e Parapuí e algumas áreas do Granito Meruoca (COSTA *et al.*, 1979). Na área de estudo, ocorrem brechas cataclásticas e conglomerados e contêm seixos de rochas cristalinas e sedimentares, tais como; granitos, basaltos e arenitos, que são distribuídos de forma desorganizada (PEDROSA JUNIOR, 2015).

De forma intrusiva, ocorre um corpo granítico e o Granodiorítico Mocambo, nas sequências supracitadas. O Granito Mocambo apresenta pequenos falhamentos orientados segundo NE-SW. São representados, por plutonismo granítico anorogênico e possuem natureza alcalina à subalcalina, constituído por rochas de granulação grossa, equigranular a porfirítica, mostrando raros fenocristais de microclina que chegam a atingir até 10 cm (PARENTE *et al.*, 2004).

2.3.3. Domínio Ceará Central

O Domínio Ceará Central ocupa a maior parte do território do estado e é limitado a oeste pela Bacia do Parnaíba e pela Zona de Cisalhamento São Pedro II (ZCS-P II), a sul pela Zona de Cisalhamento de Aiuba (ZCA), a leste pela Zona de Cisalhamento Orós (ZCO) e a nordeste pelo Oceano Atlântico. Das unidades litoestratigráficas do DCC, serão apresentados os complexos Ceará, Canindé do Ceará e Tamboril-Santa Quitéria.

2.3.3.1. Complexo Ceará

O Complexo Ceará é representado pelas unidades Independência, Canindé, Quixeramobim e Arneiroz, que se caracterizam por uma sequência típica de terrenos de rochas metassedimentares, dominadas por metapelitos, aos quais associam-se camadas de quartzito, lentes de mármore, rochas calcissilicáticas e anfibolitos (CAVALCANTE *et al.*, 2003). Na porção pertencente à Unidade Independência, há presença de xisto e metacalcários, além da ocorrência de gnaisses de idades entre proterozóicas e paleoproterozóicas.

2.3.3.2. Complexo Canindé do Ceará

Definido por Torres *et al.* (2007) como Complexo Canindé do Ceará, é constituído, principalmente, por dois tipos de rochas paraderivadas e ortoderivadas. Há presença de xisto e paragneisse e ocorrência de metacalcário e ortogneisse da Unidade Indivisa, datados do

proterozóico, além de lentes de quartzito. Associado às rochas desse complexo ocorre um corpo plutônico de biotita-granito.

2.3.3.3. Complexo Tamboril - Santa Quitéria

O Complexo Tamboril-Santa Quitéria é caracterizado como um arco magmático constituído por diatexito, granito, granodiorito e Metatexito, e são comuns resíduos de actinolita anfibolitos, milonitos e rochas calcissilicáticas. A Suíte Tamboril-Santa Quitéria é constituída de biotita-hornblenda granito, granito e granodiorito, datados a partir de U-Pb como do Proterozóico a Neoproterozóico (Santos *et al.*, 1998).

2.3.4. Província Costeira e Margem Continental

Representa a mais nova província estrutural, desenvolvida a partir do Jurássico Superior na borda oceânica, fazendo contato com quase todas as outras províncias (ALMEIDA *et al.*, 1977). A planície costeira representa a porção emersa da província, com sedimentos continentais e marinhos de idade cretácica a neógena, sendo sempre estreita, muito alongada e descontínua em alguns pontos. A sua porção submersa é a margem continental brasileira, com fisiografia e sedimentação bastante variadas iniciando na plataforma e no talude continental.

2.3.4.1. Grupo Barreiras

A Era Cenozóica é representada pelo Grupo Barreiras e por depósitos colúvio-eluviais. Bigarella e Andrade (1964) desenvolveram uma proposta de subdivisão, na qual passaram a usar a nomenclatura de Grupo Barreiras, em alternativa à Formação Barreiras, por não parecer adequada devido à presença de inconformidades erosivas e grande variação litológica (BIGARELLA *et al.* 2007).

O Grupo Barreiras é uma cobertura sedimentar de origem continental com influência marinha, de idade entre o Mioceno e o Plioceno, que aflora ao longo da faixa costeira norte e nordeste do Brasil, desde o Amapá até o Rio de Janeiro (ARAI, 2006). No Ceará, a unidade encontra-se repousando sobre o embasamento cristalino pré-cambriano (SUGUIO e NOGUEIRA, 1999; LIMA, 2002).

2.3.4.1.1. Formação Camocim

Esta litologia é considerada, por Nascimento *et al.* (1981), no Projeto RADAMBRASIL, como uma fácies do Grupo Barreiras. Costa *et al.* (1973) classificaram uma nova unidade litoestratigráfica, sotoposta ao Grupo Barreiras, da Formação Camocim, cujos perfis apresentam características litológicas, estruturas e posicionamento estratigráfico não similares ao referido grupo. No entanto,

é considerada como uma fácies do Grupo Barreiras devido à descontinuidade dessa formação, pois a descontinuidade da formação não é observada em outras áreas. São encontrados conglomerados suportados por clastos, classificados anteriormente como da Formação Camocim, mas atualmente enquadram-se no grupo supracitado, ocorrendo como lentes de pequena amplitude nos trechos Granja-Camocim e Granja-Martinópolis.

2.3.5. Coberturas Cenozóicas Inconsolidadas

As coberturas cenozóicas inconsolidadas são compostas por depósitos colúvio-eluviais, eólicos litorâneos, fluviomarinhos, aluviais e dunas recentes (CAVALCANTE *et al.*, 2003). Os depósitos colúvio-eluviais afloram, localmente, de forma irregular, sobre rochas proterozóicas ou do Grupo Barreiras, cuja espessura normalmente não ultrapassa 3m (OLIVEIRA, 1998; WERNECK, 2018); são caracterizados pela presença de areia, argila, cascalho e ocorrência de laterita.

As dunas recentes ou móveis são formadas a partir da acumulação de sedimentos removidos da face de praia, decorrente da deflação eólica (BRANDÃO, 1998). Segundo o autor, em quase todo litoral oeste cearense, ocorrem areias finas na forma de dunas eólicas ativas e fosséis. Os depósitos eólicos litorâneos ocorrem como areias quartzosas de granulação fina a média, bem selecionadas e com grãos arredondados. Adentrando no continente, encontram-se depósitos aluvionares de areia e ocorrência de argila, cascalho e silte.

2.4. PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA

Estima-se que a Plataforma Continental Jurídica do Brasil (PCJB) possui cerca de 4,5 milhões de km², o que

equivale a aproximadamente 59% da parte emersa do território brasileiro. Segundo a classificação de Heezen & Menard (1966), podemos dividir a PCJB em três províncias fisiográficas distintas: plataforma, talude e sopé continentais (Figura 2.7). Sua origem remonta ao evento de formação do Oceano Atlântico Sul (aproximadamente 100 milhões de anos), estruturando-se em bacias sedimentares, muitas delas petrolíferas.

A plataforma continental brasileira é relativamente rasa e de configuração aproximadamente plana com tabuleiros ou terraços, possuindo uma inclinação suave em direção ao mar aberto, até um aumento acentuado, denominado quebra da plataforma continental, que marca o seu limite externo. O relevo plano apresenta um gradiente muito baixo (1:1.000), com profundidade de quebra na ordem de 40 a 70 metros nas regiões Leste e Nordeste e 100 a 160 metros, nas regiões Sul e Norte. Nessa morfologia plana e ampla, com declividade em torno de 0,1°, observamos feições negativas e positivas, como os *canyons*, canais e vales submarinos, bacias de depressões lineares e bancos, terraços e recifes, respectivamente.

O talude continental é representado por uma superfície que se estende da quebra da plataforma até o sopé, constituindo a porção mais íngreme da margem continental, com uma inclinação na ordem de 4° à 5°, podendo chegar à 10° em alguns locais. Essa porção apresenta feições escavadas, como os *canyons* do São Francisco, Rio Grande, entre outros, e grandes feições positivas e aplainadas, como os platôs marginais do Nordeste e de São Paulo. Por fim, o sopé continental representa uma feição cuja transição com o talude decorre suavemente a partir do intervalo de 2.800 a 3.600 metros de profundidade, ocupando uma área total de aproximadamente 3,5 milhões de km².

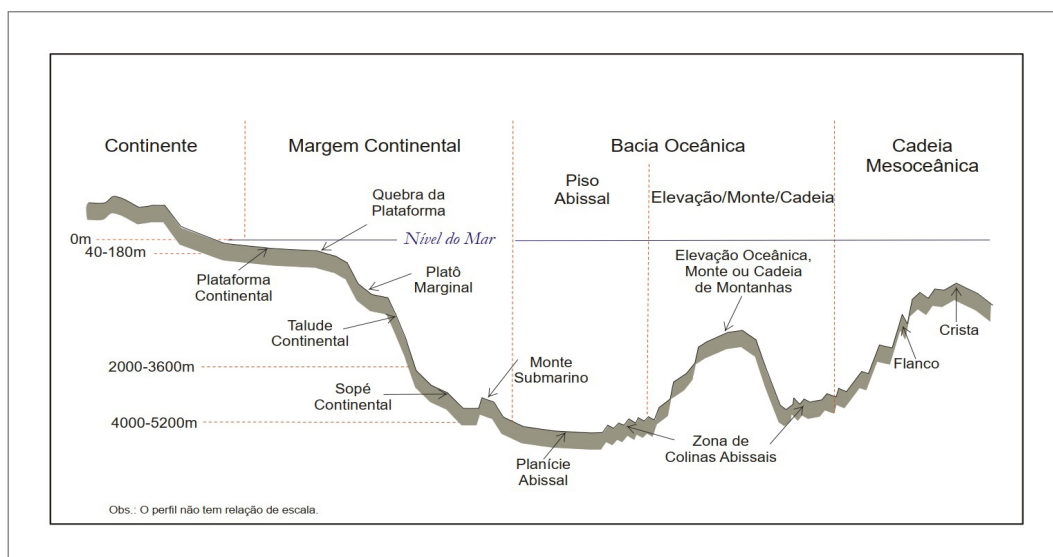


Figura 2.7 - Perfil fisiográfico esquemático de uma margem tipo Atlântica (Fonte: Projeto REMAC).

2.5. PLATAFORMA CONTINENTAL DO NORDESTE BRASILEIRO

A plataforma continental da Região Nordeste estreita-se gradativamente do Delta do Parnaíba (PI) até Belmonte (BA) e é caracterizada por ocorrências de bioconstruções. Essa feição pode ser dividida em duas porções: uma com direção aproximadamente E-W, do Delta do Parnaíba (PI) até a Ponta do Calcanhar (RN), com uma largura média de 63 km, apresentando largura máxima de 112 km na altura do Delta do Parnaíba e 21 km no limite leste da área, na região próxima da Ponta dos Três Irmãos (RN); e outra que se estende da ponta do Calcanhar até o sul da Bahia com orientação aproximada norte-sul e largura relativamente estreita em toda sua extensão, sendo mais estreita ao norte de Salvador (BA) onde chega a cerca de 8 km e mais larga no extremo sul da Bahia, ao largo de Caravelas, onde alcança mais de 200 km em decorrência da presença do banco de Abrolhos.

O relevo da plataforma nordestina na sua porção setentrional, onde se insere a plataforma cearense, é bastante plano até o Cabo do Calcanhar, tornando-se irregular na porção N-S, com muitos canais rasos e estreitos, bem como feições erosionais do tipo *hummocky*. Do Rio São Francisco para sul a plataforma torna-se novamente mais regular, com o desaparecimento das feições.

O talude continental apresenta-se como a porção mais íngreme (3° a 6°) do piso marinho. Como na plataforma, apresenta sensíveis variações de gradientes, desde 1:2 até 1:4 (26° – 1° 26'), com inclinação média de 75 m/km e largura variando entre 10 e 200 km, quando não interrompida por platôs marginais. É a província que apresenta relevo mais irregular, sendo cortado por *canyons*, vales e colinas, resultado da intensa atividade erosiva, deposicional, desmoronamentos e diastrofismo.

As variações quaternárias do nível do mar e as flutuações climáticas na costa atlântica do continente sul-americano produziram como consequência, variados tipos de sedimentos na plataforma continental.

Analisando os resultados dos estudos sedimentológicos na plataforma continental brasileira, Martins *et al.* (1972, *apud* COUTINHO, 1996) distinguiram os seguintes regimes de sedimentação:

a) Plataforma com sedimentação terrígena importante, proveniente de grandes bacias de drenagens, sendo bem ilustrada pela plataforma amazônica;

b) Plataformas cobertas por sedimentos biogênicos e biodetríticos, resultantes de uma intensa atividade biogênica. A plataforma do Nordeste é um exemplo típico;

c) Plataformas atapetadas por sedimentos relíquias, recebendo uma pequena contribuição atual ou sofrendo retrabalhamento, como é o caso da plataforma do Rio Grande do Sul.

Como observado, a plataforma continental do Nordeste pode ser dividida em duas porções, uma com sentido preferencial E-W e outra no sentido N-S. Na parte mais interna da porção E-W, o primeiro declive que normalmente vai até profundidades entre 10 e 15 m é coberta por sedimentos litoclásticos. Nas proximidades da cidade de Fortaleza, esses sedimentos chegam até a quebra da plataforma. Na porção N-S, os sedimentos litoclásticos ocorrem, principalmente, nas áreas mais próximas das desembocaduras dos grandes rios e podem ter enclaves de lama, com até 30% de areia, principalmente na desembocadura de pequenos rios e entre recifes costeiros.

Quanto aos sedimentos bioclásticos, são compostos por fragmentos de algas calcárias vermelhas do tipo *lithothamnium* e algas verdes calcificadas, representadas pelos gêneros *Halimeda*, *Udotea* e *Penicillus*. As *Halimeda*, cujas espécies variam segundo as condições ecológicas, sendo importantes formadoras de sedimentos carbonáticos nas plataformas e a espécie *H. incrassata* a mais abundante na zona infralitoral, enquanto que na zona circalitoral dominam as espécies *H. tuna* e *H. discodea*. Também, são encontradas: areias de foraminíferos plantônicos, bancos de vermetídeos e areias e cascalhos de fragmentos de conchas de moluscos bivalves e gastrópodes.

2.6. PLATAFORMA CONTINENTAL DO CEARÁ

A plataforma continental do Ceará, possui uma largura média de 63 km, apresentando largura máxima de 110 km, na altura da cidade de Camocim e mínima de 41 km, em Tremembé, município de Icapuí, a leste de Fortaleza.

A plataforma interna, em quase toda a sua extensão, é marcada por um primeiro e pequeno declive, abrangendo as isóbatas de 0 a 15 m, com maior frequência na isóbata de 10 metros e declividade variando em torno de 1:670. Esse declive é característico e constante, sendo considerado como o gradiente de passagem da parte emersa para a plataforma continental. Via de regra, mostra-se estreito, apresentando largura mínima nas proximidades de Fortaleza, alargando-se tanto para leste como para oeste, chegando a apresentar 8 km de largura. A cobertura sedimentar é principalmente composta de litoclastos com textura variando de areia a cascalho. As lamas só ocorrem em locais mais próximos à costa e em locais abrigados.

Os sedimentos bioclásticos são formados por cinco associações carbonáticas principais, passíveis de serem cartografadas na escala do trabalho: *mäerl* (predomínio de algas coralíneas), areia e/ou cascalho de *Halimeda*, foraminíferos, vermetídeos e biodetritos (mistura de fragmentos de moluscos, briozoários, algas calcárias etc.).

Nos perfis batimétricos da plataforma externa são observados vários patamares, indicando ruptura múltipla em degraus, os quais correspondem a terraços de borda de plataforma, sendo bem individualizados entre 23 e 30 metros, 40 e 50 metros e 60 e 70 metros (FREIRE, 1985).

3. MÉTODOS

As atividades desenvolvidas no mapeamento da plataforma continental do Ceará Oeste, setor Bitupitá, foram realizadas através de parceria entre a Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM) do SGB-CPRM e o Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) da UFC, sob a coordenação do Professor George Satander Sá Freire. O planejamento e a pesquisa de campo foram realizados pela equipe do LGMA, assim como parte das análises e alguns resultados. A interpretação ficou a cargo dos pesquisadores do SGB-CPRM.

Os principais objetivos do trabalho residem no reconhecimento geológico e na avaliação da potencialidade mineral da plataforma continental rasa, por meio de levantamentos geológico-geofísicos, detalhamento de sítios de interesse geoeconômico e preparação de estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Os trabalhos foram realizados de acordo com as seguintes etapas:

3.1. SEDIMENTOLOGIA

Os sedimentos são frequentemente classificados por parâmetros estatísticos calculados com base na análise do tamanho do grão (por exemplo, FOLK e WARD, 1957; MASON e FOLK, 1958; BULLER e MCMANUS, 1972; GOLDBERY, 1980).

Tais informações ajudam na compreensão dos processos de transporte e dos ambientes de sedimentação presentes na área.

3.1.1. Amostragem de sedimentos

A coleta geológica foi realizada com o barco de pesquisa Prof. Martins Filho, da Universidade Federal do Ceará (UFC), e com o navio balizador Comandante Manhães, da Marinha do Brasil, com amostrador pontual do tipo *Van Veen*, com capacidade variando de 2 a 10 kg.

As amostras foram coletadas com alta resolução para levantamentos sedimentológicos na plataforma rasa, espaçadas com uma distância de aproximadamente 1 km entre elas e em perfis com cerca de 1 milha náutica (1.852 metros) de espaçamento entre eles.

No mapeamento foi coberta uma área de 2.400 km² ou 240.000 ha, com geometria de cerca de 40 km de linha de costa e 60 km mar adentro (Figura 3.1). Foram feitos 20 perfis e coletadas um total de 1.127 amostras. O trabalho iniciou-se no lado mais oeste da área, próximo

da divisa com o Piauí, na parte norte, no menor dos perfis, o perfil 01. As coletas se estenderam para leste com a realização de 20 perfis.

O procedimento de coleta foi realizado através do lançamento do amostrador do tipo busca fundo *Van Veen*. O equipamento, ao tocar o fundo, fecha-se, trazendo em sua concha os sedimentos. Ao chegar no convés é aberto e a coleta realizada com a etiquetagem e o acondicionamento da amostra.

Antes, é realizada a primeira descrição macroscópica da amostra e anotadas suas informações. Ao chegar no escritório, as amostras são preparadas para o início das análises.

3.1.2. Análise granulométrica e composicional

A análise da distribuição do tamanho dos grãos dos sedimentos é de fundamental importância para o estudo da sedimentologia. Traz informações de proveniência, energia hidrodinâmica e maturidade dos sedimentos, dentre outras.

As análises granulométricas foram realizadas pelo Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) da UFC, a partir de 100 gramas da amostra quarteada para a análise por peneiramento. Uma separação úmida dividiu a porção mais fina (silte e argila) da mais grossa (areia e cascalho) através da peneira de 0,063 mm. Depois de seca, a fração grossa foi peneirada mecanicamente em um agitador, com peneiras variando de $\frac{1}{2} \phi$ (phi), entre -2ϕ e 4ϕ ; a fração mais fina passou por uma análise através do método da pipetagem, como descrito em Suguio (1973).

Os parâmetros estatísticos tais como: Mediana (Md), Diâmetro médio (Mz), Desvio padrão (Si), Assimetria (Ski) e Curtose (Kg) foram calculados segundo as fórmulas de Folk & Ward (1957), e a classificação segundo Sheppard (1954) e Larssoneur (1977) foram obtidos utilizando-se o software ANASED – Análise Sedimentológica, (LIMA *et al.* 2001), desenvolvido com apoio do LGMA/UFC.

A interpretação do resultado das análises foi realizada através dos softwares de análises de tamanho de grão de sedimento, do Woods Hole Coastal and Marine Science Center, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), como o SEDCLASS e o SEDPLOT.

Outras análises foram realizadas com o software SysGran, sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento (CAMARGO, 2006). O software

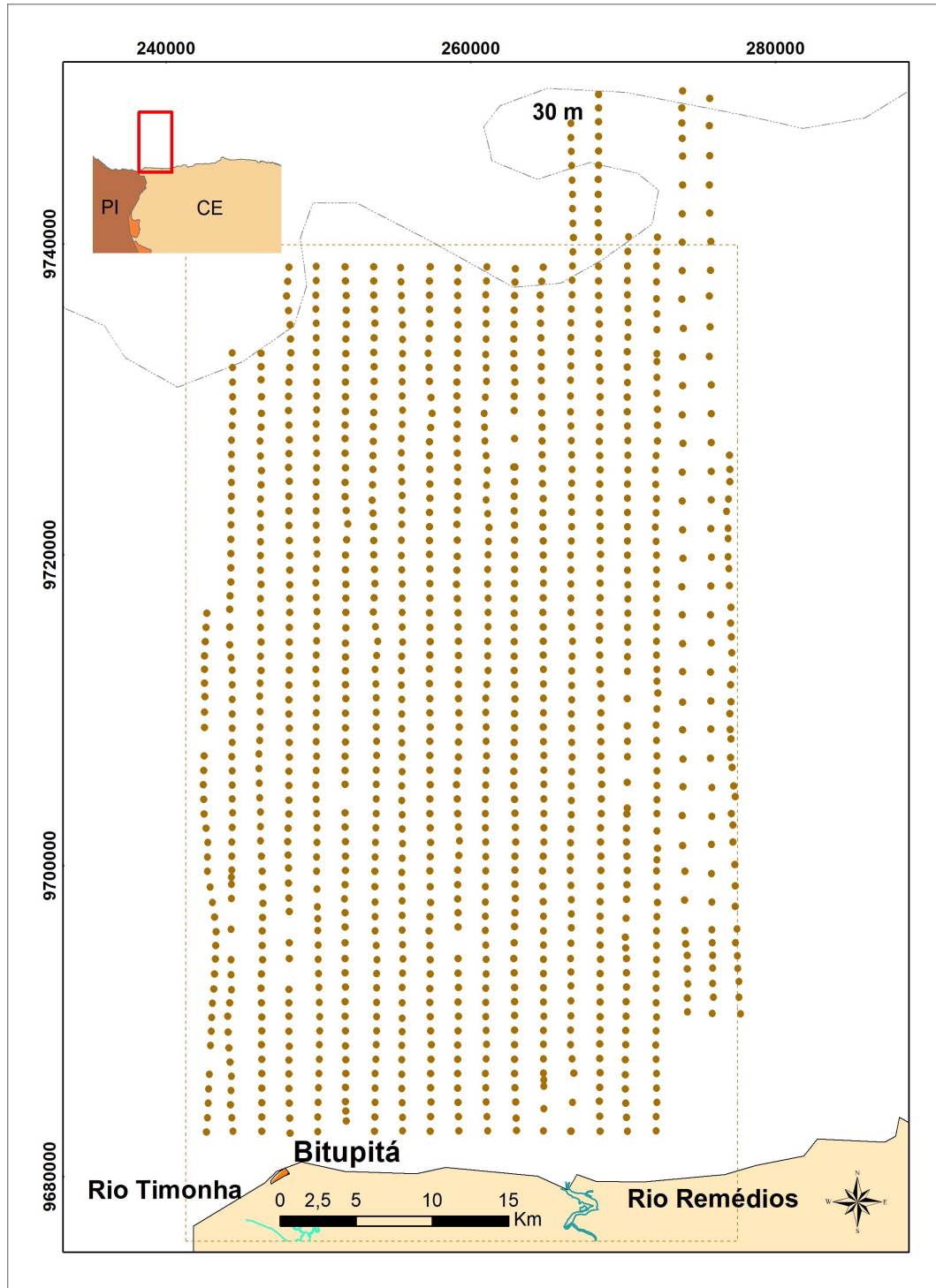


Figura 3.1 - Mapa de pontos das coletas geológicas na área de Bitupitá e outros dados pretéritos. Fonte: os autores.

RStudio foi utilizado para as análises dos sedimentos através do pacote rysgran.

3.1.3. Carta textural

A Carta Textural da Plataforma Rasa do Ceará Oeste, Setor Bitupitá adotou o Datum horizontal SIRGAS2000, trazendo como principal informação a faciologia textural na escala de 1:100.000, com a batimetria e os teores

de carbonato de cálcio (CaCO_3), cascalho e areia como mapas encarte em escala de menor detalhe (1:500.000). Os mapas foram elaborados utilizando os softwares Surfer e ArcGis.

A base planimétrica digital foi obtida a partir da folha Bitupitá (SA.24-Y-A-V), dos mapas de infraestrutura do Atlas Digital publicado em 2005 pelo SGB-CPRM em escala de 1:500.000, ajustada às imagens do mosaico GeoCover - 2.000, ortorretificado e georreferenciado

segundo o datum WGS84, de imagens ETM+ do Landsat7, resultante da fusão das bandas 7, 4, 2 e 8, com resolução espacial de 14,25 metros.

A carta textural foi construída com a interpretação geológica direcionada, levando em consideração o comportamento morfológico-batimétrico e a área de influência para cada ponto amostrado. O sistema de classificação escolhido para a análise dos dados foi o de Shepard (1954), modificado por Schlee (1973) e por Poppe (2004) analisados pelo programa SEDPLOT (Sediment Classification and Plotting Program), do USGS.

3.1.4. Análise geoquímica

A análise geoquímica foi realizada na fração total (Foto 3.1-D) dos sedimentos coletados, para uma caracterização geral do sedimento, e, também, análises individualizadas nas porções Halimeda, Lithothamnium e Rodolito (Fotos 3.1-A, 3.1-B e 3.1-C), além dos siliciclastos.

A digestão das amostras se deu por ataque forte com água-régia para abertura total. Para a análise da composição das algas calcárias, a abertura foi feita através de ataque com ácido HCl 0,1 M, para determinação dos elementos trocáveis. Os extratos em triplicatas foram analisados por espectrometria de absorção atômica. As análises foram feitas no laboratório SGS/Geosol e parte das amostras analisadas pelo laboratório ACME.

As amostras foram analisadas no laboratório comercial ACME, em Vancouver, Canadá, por meio dos seguintes critérios: (i) Análise dos principais óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 , P_2O_5 e Cr_2O_3) por fusão com LiBO_2 usando 0,2 g de amostra, análise por ICP-ES; e (ii) Amostras fundidas de acordo com a mesma técnica foram analisadas por ICP-MS para determinação de elementos menores e traços (Ba, Cs, Ga, Hf, Nb, Sn, Sr, Ta, Sc, Th, U, V, W, Y, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tm, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Digestão via quatro ácidos (HNO_3 , HClO_4 , HF, H_2O) foi utilizada para análise de Ni por ICP-MS.



Foto 3.1 - Fotografias com as frações dos sedimentos bioclásticos marinhos analisados separadamente na análise geoquímica: (A) lithothamnium e (B) halimeda da amostra 303; (C) rodolitos da amostra 31A; e (D) fração total da amostra 308. Fonte: Os autores.

As análises realizadas no laboratório analítico da SGS/ Geosol, localizado no município Vespasiano (MG), dos principais óxidos (Al_2O_3 , CaO , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , MnO , Na_2O , P_2O_5 , SiO_2 , TiO_2), foram feitas através do método ICP95A por fusão com metaborato de lítio com leitura por ICP-OES. A fração fina foi destinada para análise química dos elementos (Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, P, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, As, U, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, La, Cr, Ba, W, Sc, Tl, Se, Te, Ga, Cs, Ge, Hf, Nb, Rb, Sn, Ta, Zr, Y, Ce, In, Be, Li, Ag, Hg). As amostras foram secas a $60^\circ C$ e peneiradas a 80 mesh, pulverizadas e digeridas com água-régia (0,5 g com 3 ml 2-2-2 HCl-HNO₃-H₂O a $95^\circ C$ por uma hora, diluída para 10 ml) e analisada por ICP-MS.

3.1.5. Análise do $CaCO_3$

A determinação do teor de carbonato de cálcio presente em cada amostra foi realizada pelo Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA), da UFC, com o método do calcímetro de Bernard modificado, que utiliza a reação de ácido clorídrico (HCl), diluído com uma porção pequena da amostra, e calcula através do gás produzido na reação pelo teor de carbonato de cálcio na amostra.

Das 1.126 amostras coletadas, foram analisadas 960, como pode ser visto na Figura 3.2.

O carbonato de cálcio é a espécie química do cálcio mais comum na Terra. É encontrado no calcário e nos

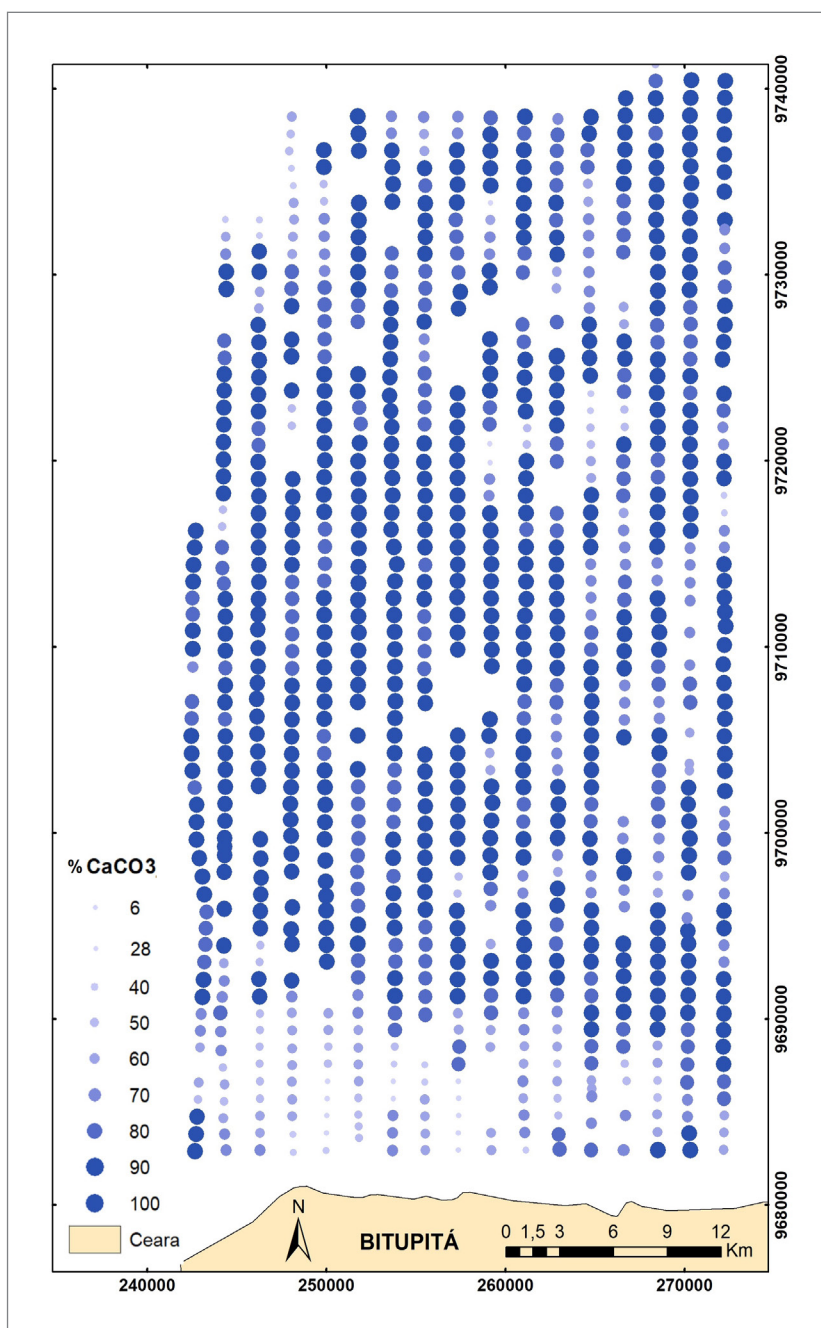


Figura 3.2 - Mapa de pontos das amostras analisadas com o carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Fonte: os autores.

restos fossilizados da vida primitiva; gesso, anidrita, fluorita e apatita também são fontes de cálcio. O nome deriva do latim *calx*, cal, obtido a partir do aquecimento do calcário (HLUCHAN e POMERANTZ, 2006).

O cálcio é essencial para a manutenção da estrutura e do metabolismo animal, em geral, e humano, em particular. Importante para o adequado funcionamento dos músculos e participa da transmissão de impulsos nervosos.

No ambiente marinho é de extrema importância na manutenção estrutural de corais, conchas e carapaças de moluscos, foraminíferos e equinodermos, como também na constituição dos esqueletos internos dos vertebrados. Está presente na água do mar com 1,5% dentre os sais dissolvidos e participa diretamente na formação de conchas e no crescimento das algas calcárias.

Recentemente, cientistas da Universidade de Tohoku, no Japão, criaram um novo eletrólito de cálcio, livre de flúor, capaz de produzir baterias recarregáveis, que podem ser mais sustentáveis e seguras do que os modelos atuais feitos de lítio (MINARI, 2021; KISU, 2021).

3.1.6. Determinação dos minerais pesados

As análises para o estudo dos minerais pesados foram realizadas pelo LGMA e escolhidas as frações granulométricas compreendidas entre 0,250 e 0,063 mm, equivalente a areias finas a muito finas, por apresentarem maiores concentrações desses minerais (PARTENOFF *et al.*, 1970).

As amostras mais significativas foram escolhidas em consideração à proximidade com o continente, e à dispersão mecânica do material litoclástico na plataforma continental. As amostras foram analisadas em luz ultravioleta para determinação de scheelita. Em seguida, foram analisadas com imã de mão, para determinação de magnetita. Posteriormente, foram passadas em separador Magnético Frantz, em três frações de amperagens definidas (0,3 A; 0,5 A; e 0,75 A), para separação de diversas classes de minerais com susceptibilidades magnéticas diferentes. Após essa etapa, foram mergulhadas em líquido denso (bromofórmio – CHBr₃), para separação dos pesados não atraídos no eletroímã. Na etapa final, foram analisadas em lupa binocular, para determinação e cálculo semiquantitativo dos minerais pesados encontrados.

3.1.7. Componentes Bióticos

Os componentes bióticos foram determinados nas subamostras pela observação visual a olho nu e através de uma lupa binocular, contados e identificados 400 indivíduos por amostra, pelo método proposto por Tinoco (1989). As análises foram realizadas pelo LGMA-UFC.

3.2. BATIMETRIA

Os dados batimétricos foram coletados nos mesmos perfis realizados para a coleta de sedimentos, cobrindo a mesma área, com profundidade variando de 5 a 45 metros. Devido aos problemas técnicos com os equipamentos de aquisição da batimetria, não foi possível realizar a coleta de dados em tempo real entre os perfis. Os dados batimétricos foram coletados nas estações de amostragens e complementados por informações disponíveis nas cartas náuticas e folhas de bordo da Marinha.

Para a análise batimétrica e morfológica da região foi produzida uma imagem oriunda de processamento de satélite com informações de fundo e abrangendo uma área adjacente maior, possibilitando identificar e avaliar os ambientes vizinhos, bem como possíveis relações na dinâmica sedimentar. Nesta estimativa batimétrica, utilizou-se imagens Landsat 8, que passaram por um processamento digital para permitir a visualização do fundo do mar.

Lyzenga (1978, 1981), Philpot (1989) e Maritorea *et al.* (1994) demonstraram que a profundidade da água pode ser estimada usando sensoriamento remoto. Stumpf e Holderied (2003), com o interesse em mapear a morfologia de fundo de áreas relativamente grandes e remotas de recifes de coral, buscaram uma solução alternativa, usaram menos parâmetros, que exigem menor ajuste empírico e com potencial mais robusto sobre habitats de fundos variáveis.

A estimativa da batimetria é realizada através do algoritmo independente do albedo desenvolvido por Stumpf e Holderied (2003). O método de estimativa de profundidade usa a reflectância de cada banda da imagem de satélite, corrigidos os efeitos atmosféricos. Os resultados da profundidade da água são relativos, sendo calibrados para profundidade absoluta usando dados obtidos em cartas náuticas.

Utilizando imagens de satélite com bandas absorvidas diferencialmente pela água, uma banda terá valores de reflectâncias aritmeticamente menores do que a outra. Assim, conforme os valores e a proporção mudam com a profundidade. À medida que a profundidade aumenta, enquanto a reflexão de ambas as bandas diminui, a banda com maior absorção (verde) diminuirá proporcionalmente mais rápido que a banda com menor absorção (azul). Consequentemente, a proporção do azul para o verde aumentará, compensando implicitamente o tipo de fundo variável. Assim, a mudança na proporção por causa da profundidade é muito maior do que aquela causada pela mudança no albedo de fundo, sugerindo que albedo de fundo diferente em uma profundidade constante ainda terá a mesma proporção entre as bandas verde e azul. Jagalingam (2015) ressalta que o uso destas bandas justifica-se porque a radiação na banda azul (450 – 515 nm), decai mais rápido com o

aumento da profundidade do que a radiância da banda verde (525 – 600 nm).

O método utilizado aborda várias questões que têm considerável relevância para o uso de imagens multiespectrais passivas para mapeamento batimétrico em águas rasas, pois não requer subtração de água escura, o que expande o número de ambientes sobre os quais pode ser aplicado. Também, tem menos coeficientes empíricos necessários para a solução, o que torna o método mais simples e mais estável em áreas geográficas maiores e pode ser ajustado usando dados batimétricos confiáveis disponíveis.

Para a estimativa da batimetria foram utilizadas as bandas 5 (NIR), 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul) do satélite LandSAT 8, onde o modelo batimétrico foi ajustado com a utilização dos dados obtidos em campo do projeto GRANMAR.

Os dois produtos batimétricos foram importantes para a caracterização morfológica da região, servindo de suporte para a interpretação do mapa faciológico textural.

3.3. CARTOGRAFIA

3.3.1. Carta batimétrica

Inicialmente, os dados foram tratados para ajustes necessários ao uso em conjunto de dados de diferentes fontes, todos referenciados ao nível zero da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

Posteriormente, foram vetorizados e adicionados em softwares de análise geoestatística para serem reavaliados, quanto à representação e ao erro associado, usando diferentes métodos de interpolação.

Os modelos foram analisados e, ao fim, decidiu-se por uma melhor representação da superfície modelada. A partir daí a informação passou a ser analisada como resultado da batimetria.

O ArcMap foi o software utilizado na produção da batimetria e, com o uso de suas ferramentas, foi possível produzir diversos subprodutos, com base na malha gerada pela batimetria, contribuindo significativamente para um melhor diagnóstico da área em pesquisa, o mapa de declividade, o modelo digital do terreno, a possibilidade de produzir drenagens e vetores de fluxo, dentre outros. A produção de diferentes elementos de análises da morfologia permite, no mínimo, ampliar as possibilidades de caracterização do ambiente e, conseqüentemente, melhorar o entendimento sobre ele.

A carta batimétrica e o modelo digital de terreno foram construídos por interpolação com as informações de profundidade adquiridas em campo, complementadas pelas folhas de bordo e cartas náuticas. As cartas de distribuição dos percentuais das frações predominantes e a de teor de carbonato de cálcio são resultados de interpolações.

Os vetores de fluxo na superfície batimétrica foram utilizados como suporte para a interpretação dos limites de contato entre as diferentes classes sedimentares encontradas na construção do mapa textural.

4. BREVE FUNDAMENTAÇÃO E TRABALHOS ANTERIORES

Apesar de os estudos de prospecção mineral no mar brasileiro serem ainda modestos, há algumas décadas o Brasil tem realizado importantes pesquisas no ambiente marinho, como a caracterização dos granulados marinhos (e.g. KEMPF *et al*, 1968; COUTINHO e MORAES, 1970; FREIRE e CAVALCANTI, 1998; DIAS, 2000; MARTINS e NUNES, 2007; CAVALCANTI, 2011 e 2020).

A plataforma continental brasileira possui sedimentação mista, carbonática e siliciclástica. As origens e processos são distintos e estão inter-relacionados (WILSON, 1975). Tagliari (2013) propõe para o entendimento da sedimentação mista a compreensão das distintas características que compõem os membros dessas misturas, os carbonatos e os siliciclastos.

Os carbonatos podem ser depositados em todos os ambientes marinhos, inclusive nos mais profundos, pois estão presentes na água do mar (HAY *et al* 1988). Ocorrem em todas as latitudes, porém a deposição é mais intensa em águas quentes (latitudes 30° N e 35° S) e com maior produção na zona fótica (0 a 70 metros), com máxima nos 10 a 20 primeiros metros. Os siliciclastos são depositados pontualmente no mar, por influência do fornecimento dos rios, e, posteriormente, retrabalhados por correntes e ondas. Sua deposição é mais rápida e direta que a dos carbonatos. Em certo grau de condições, as deposições competem entre si.

Geralmente, é aceito que a deposição dos carbonatos em águas rasas depende da ausência ou pouco influência dos siliciclastos, que são fornecidos para o ambiente deposicional de modo mais rápido do que os carbonatos (TAGLIARI, 2013).

Dentre os componentes principais dos granulados marinhos bioclásticos, com interesse econômico, destacam-se as macroalgas calcárias do tipo *Lithothamnium* e *Halimeda*. Estes sedimentos vêm sendo estudados em diversas pesquisas com aplicações no mercado agrícola, dentre diversos outros.

O nome *lithothamnium* origina-se do grego *litho*, que significa rocha, e *thamnium*, árvore pequena. São macroalgas calcárias não articuladas, ramificadas ou incrustantes, ramificada ou incrustante da ordem *Corallinales* (NUNES, *et al.*, 2008), conhecidas como *mäerl*. São formadas por ramificações calcificadas de 2 a 3 mm de espessura, e que pode atingir cerca de 8 cm de comprimento. São elementos importantes para a construção de formações recifais e de bancos de rodolitos, onde são os principais organismos formadores (FOSTER *et al.* 2007, *Apud* Cavalcanti, 2020).

São encontradas na maioria dos habitats marinhos, desde regiões polares até glaciais. Já foram encontradas no Oceano Atlântico Norte, no Mar do Norte, no Canal da Mancha até o Mar Mediterrâneo, a uma profundidade de aproximadamente 30 m. Vivem entre 10 e 15 anos, com crescimento de 0,3 a 3 mm por ano.

Halimeda é um gênero de algas verdes, de talo cenocítico e calcificado, que desempenha importante papel ecológico em regiões tropicais. Segmentos calcificados e branqueados de *Halimeda* podem se acumular em grandes depósitos com potencial econômico, como ocorre na costa nordeste do Brasil (BANDEIRA-PEDROSA *et al*, 2004).

4.1. RECURSOS MINERAIS NA PLATAFORMA

Os processos da tectônica de placas e seus diversos tipos de contatos geram eventos geológicos associados a cada tipo de margem continental que produzem ambientes deposicionais favoráveis à concentração de recursos minerais específicos.

Os recursos minerais são originados, distribuídos e concentrados de acordo com diversos fatores e condicionantes, como o tipo de margem continental e os processos tectônicos associados que geram mineralizações específicas. Durante a fase de fragmentação do Gondwana que levaria à formação da margem continental passiva sulamericana e do Oceano Atlântico, onde está localizado o território brasileiro, depósitos minerais metálicos de cobre, ferro, manganês, zinco, chumbo, prata e ouro, dentre outros podem ter sido formados (SANTANA, 1997).

Outros agentes também atuam na movimentação e concentração de substâncias minerais de importante valor econômico.

Na margem continental brasileira ocorrem diversos recursos minerais apresentados na Tabela 4.1, adaptada por Santana (1997), segundo modelo *The International Classification of Minerals Resources* (United Nations, 1979). Dentre as ocorrências destacam-se os carbonatos e minerais típicos de depósitos de plácemes. Estes figuram como econômicos, identificados, porém inferidos.

A grande quantidade de ocorrências reflete o que se espera de um ambiente de margem passiva, porém muitas delas estão como não descobertas ou inferidas, sugerindo que prováveis ocorrências futuras sejam descobertas com o aumento das pesquisas.

Tabela 4.1 - Recursos minerais na margem continental brasileira, adaptado de Santana (1997).

	IDENTIFICADOS			HIPOTÉTICOS (EM DISTRITOS DESCONHECIDOS)	NÃO DESCOBERTOS		
	Demonstrados		Inferidos		Inferidos		
	Medidos	Indicados					
Econômicos		Hidrocarbonetos Ilmenita Zircão Rutilo	Hidrocarbonetos	Hidrocarbonetos Salgema Carbonato Ilmenita Zircão Rutilo		Hidrocarbonetos Enxôfre e Carvão	Hidrocarbonetos
Subeconômicos	Paramarginais			Sais de Potássio Monazita			
	Submarginais			Fosfato Nód. Polimetálicos Ilmenita Monazita Rutilo			Fosfato Nód. Polimetálicos Ilmenita Monazita Rutilo Zircão Ouro Diamante

Como os minerais pesados podem ter origem primária numa vasta gama de rochas, onde ocorrem muito disseminados (isto é, como minerais acessórios), o seu estudo revela-se particularmente interessante. A presença de determinadas espécies minerais no sedimento pode ser utilizada como traçador da sua origem e, conseqüentemente, como indicador da dinâmica sedimentar (DIAS, 2004).

Os depósitos de minerais pesados (densidades maiores do que 2,89 g/cm³), com densidade superior aos dos feldspato e quartzo, foram, provavelmente, um dos primeiros recursos minerais marinhos explorados pelo homem. Lewis (1924) relata que os fenícios transportavam depósitos praias de cassiterita da região de Cornwall (Inglaterra) para o Porto de Cadiz (Espanha), entre os séculos IX e III a.C., fornecendo estanho às margens do Mar Mediterrâneo, que era transportado, possivelmente, até a Índia (AGUIAR NETO *et al.*, 2016).

Emery (1968) classifica os minerais pesados econômicos em três grupos, levando em consideração suas características físicas e os fatores ambientais de deposição (BARRETO, 1972): “pesados”, incluindo o ouro,

estanho e platina com densidade variando entre 6,8 e 21 g/cm³, sendo seus depósitos predominantemente aluvionares; e “leves”, grupo da ilmenita, rutilo, zircão e monazita, cujas densidades variam entre 4,2 e 5,3 g/cm³, com depósitos predominantemente em praias marinhas; e grupo das gemas – essencialmente diamante, rubi e safira, com baixos pesos específicos (2,9 a 4,1 g/cm³), porém de alta dureza, sendo seus depósitos restritos a leitos de rios, com exceção do diamante, que ocorre não só em depósitos aluviais, como também em praias.

Os minerais pesados, ocorrem até o máximo de 20 km de distância da fonte. Os depósitos econômicos desse grupo são mais frequentes em vales, paleovales e aluviões, porém, podem ocorrer em praias recentes ou antigas, quando a rocha fonte primária está perto ou carregada por correntes de grande competência que levam os minerais metálicos para o oceano gerando concentrações submersas. Os minerais pesados “leves” ocorrem pela zona costeira e em ambientes de alta energia deposicional (SILVA, 2000).

Exemplo de exploração intensa de estanho em depósitos situados em paleovales atualmente submersos é

realizada nos litorais da Tailândia e Indonésia. No Brasil, algumas empresas exploram minerais pesados em cordões costeiros, como a extração de minerais metálicos na cidade de Mataraca, no litoral paraibano, até 2018.

4.2. TRABALHOS ANTERIORES

O Brasil tem um enorme desafio pela frente quando o assunto é o mar. As belezas e riquezas ali encontradas são patrimônios que devem ser muito bem cuidados. O país possui um dos maiores litorais do mundo e, portanto, uma considerável extensão marinha com complexidade a ser conhecida.

A extensa área oceânica brasileira, chamada de Amazônia Azul, tem cerca de 4,5 milhões de km², e cerca de metade do tamanho da área continental do país. A longa convivência com o mar promove uma experiência importante para a sociedade, gerando emprego, renda e desenvolvimento, ainda que incipientes. No entanto, faz-se necessário que as atuais práticas sejam reavaliadas e adaptadas na busca de promover o adequado conhecimento dos ambientes e suas complexidades para sua preservação futura.

Mesmo diante das dificuldades geográficas e de extensão territorial de um país como o Brasil, diversos são os trabalhos realizados nesses ambientes, porém ainda muito aquém do que deveria ser para o adequado reconhecimento dos recursos marinhos vivos e não vivos.

Dentre os diversos trabalhos realizados nos últimos anos, que contribuíram para o conhecimento da geologia marinha, destaca-se o Projeto REMAC que nas décadas de 1960 e 1970 realizou diversos cruzeiros oceanográficos em toda extensão da plataforma continental, com pesquisadores de diferentes órgãos nacionais e internacionais, tais como: ANM (na época ainda DNPM), CPRM, Petrobrás, USGS e NOAA e de universidades brasileiras.

As operações GEOMAR I e II, ocorridas em 1969 e 1970, realizaram coletas geológicas para estudo dos minerais pesados. Além de diversas outras pesquisas locais na plataforma continental realizadas pelas universidades espalhadas pelo Brasil no âmbito do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM).

Dentre as recomendações sugeridas pelo Professor Paulo da Nóbrega Coutinho (1996), ao trabalhar a oceanografia geológica no Levantamento do Estado da Arte da Pesquisa dos Recursos Vivos Marinhos do Brasil no programa REVIZEE, está: *"... a necessidade de mais amostragens de sedimentos das áreas entre o Delta do Paraíba e Camocim, toda a costa do Rio Grande do Norte, a plataforma externa da Paraíba, a plataforma sul de Pernambuco e, finalmente, a plataforma norte da Bahia até Salvador"*.

Neste sentido, e com o intuito de ampliar as pesquisas e o conhecimento da região marinha rasa, o

SGB-CPRM desenvolve o Projeto Plataforma Rasa do Brasil, inicialmente chamado de GranMar (Granulados Marinhos do Litoral Brasileiro).

4.3. TRABALHOS REALIZADOS COM DADOS GRANMAR

O Projeto Plataforma Rasa tem o propósito de contribuir para o aumento das pesquisas e da presença do estado brasileiro no território marinho. Durante suas atividades, diversos trabalhos acadêmicos foram publicados, frutos das pesquisas na plataforma continental, como:

Moraes (2007) desenvolveu em sua tese o estudo sobre Morfologia e Sedimentologia do Litoral e da Plataforma Continental Interna do Município de Acaraú, CE.

Leite (2007) tratou do estudo da Geoquímica de Sedimentos Marinhos da Plataforma Continental de Águas Rasas Adjacente à Costa do Estado de Pernambuco.

Oliveira *et al.* (2009) realizaram a Caracterização das Feições Morfoestruturais da Plataforma Continental do Rio Grande do Norte com o Uso de Processamento Digital de Imagens do Landsat-7.

Os dados do projeto Plataforma Rasa no Rio Grande do Norte, também, deram suporte à dissertação de Santos (2010), intitulada Caracterização Morfodinâmica e Sedimentologia da Plataforma Continental Rasa na APA Estadual dos Recifes de Corais do Rio Grande do Norte.

Almeida *et al.* (2011) escreveram sobre a Assembleia de Minerais Pesados da Plataforma Continental, porção oeste do estado do Ceará.

Em 2015, Aguiar Neto desenvolveu a dissertação Ocorrência de Minerais Pesados na Plataforma Continental Interna/Média Oeste do Ceará.

Aguiar Neto *et al.* (2016), estudaram os minerais pesados da plataforma continental oeste do Ceará em busca da proveniência mineral. O estudo aponta concentrações importantes de minerais pesados (4,54%), com indícios de depósitos do tipo plácer na área próxima à Fortaleza. A assembleia mineral (ilmenita, turmalina, epidoto, hornblenda, monazita, estauroлита, sillimanita, rutilo, magnetita, zircão, andaluzita, cianita, granada, leucóxênio, diopsídio, apatita, espinélio e cassiterita) sugere contribuições regionais do retrabalhamento dos sedimentos da Formação Barreiras e contribuição local das rochas metamórficas do Complexo Ceará.

Outros trabalhos de conclusão de cursos e mestrados foram realizados, como o TCC de Nascimento (2016) na UFPE, intitulado Análise dos Bioclásticos Marinhos da Região Sul da Plataforma Continental de Pernambuco, a tese de Abreu Neto (2017) Geodiversidade da Plataforma Continental de Icapuí, Ceará: Uma Proposta de Identificação de Áreas-Chave em Ambientes Marinhos, e a tese de Santos (2018) Morfologia e Sedimentologia da Plataforma Continental Interna da Área Bitupitá, Ceará/Brasil.

4.4. TRABALHOS COM *LITHOTHAMNIUM* NO BRASIL

Algumas empresas no Brasil iniciaram pesquisas em sedimentos marinhos de modo a analisar os potenciais e, sobretudo, encontrar as aplicações dos insumos para os diversos setores da economia, com vistas em desenvolvimento de produtos inovadores e consequentes melhorias para a sociedade. Dentre as pesquisas, a linha de utilização dos granulados marinhos bioclásticos, por exemplo, na indústria agropecuária, vem se destacando nos últimos anos, principalmente na nutrição vegetal e animal.

A utilização de farinha de algas calcárias marinhas, vitamina D, gordura protegida e aditivos associados tem potencial de aumentar a concentração de alguns ácidos graxos insaturados da carne de novilhas Brangus (COMPARIN, 2015). Neste trabalho foi analisada a composição química e perfil de ácidos graxos da carne de novilhas em pastagens suplementadas com aditivos alimentares, dentre eles o uso do *Lithothamnium* com resultados positivos.

Evangelista *et al.* (2016) avaliaram os efeitos do uso do *Lithothamnium* sobre o crescimento e a produção de frutos de pimentão cultivados em sistema de produção orgânico. A aplicação de doses crescentes de *Lithothamnium*

e irrigações manejadas com base em valores crescentes de potenciais de água produziram aumento linear nas características de crescimento e produção do pimentão. A máxima eficiência econômica do fertilizante *Lithothamnium* foi obtida com a aplicação da dose de 0,54 g/L correspondendo à produção de frutos de 491,26 g/planta.

O *Lithothamnium* foi testado como um material sorvente em tratamento de efluentes ou soluções aquosas contendo o metal pesado Cr^{+3} , usando ensaios em batelada por Veneu *et al.* (2016). Os resultados foram promissores, colocando mais essa possibilidade de utilização. É possível observar a remoção do Cr^{+3} e a captação nas paredes do granulado bioclástico (Figura 4.1-B). A imagem da Figura 4.1-A mostra o alto grau de porosidade do *Lithothamnium* antes da remoção.

Os difratogramas das Figuras 4.1-C e 4.1-D mostram espectros obtidos da superfície de partículas de granulados bioclásticos por energia dispersiva de raios-X (EDX), respectivamente, antes e após a adsorção dos íons Cr^{+3} .

O *Lithothamnium calcareum* é comercializado como suplemento nutricional de cálcio e outros minerais, no Brasil e em alguns países, com o nome farmacêutico Vitality 50+ (ALMEIDA, *et al.*, 2012).

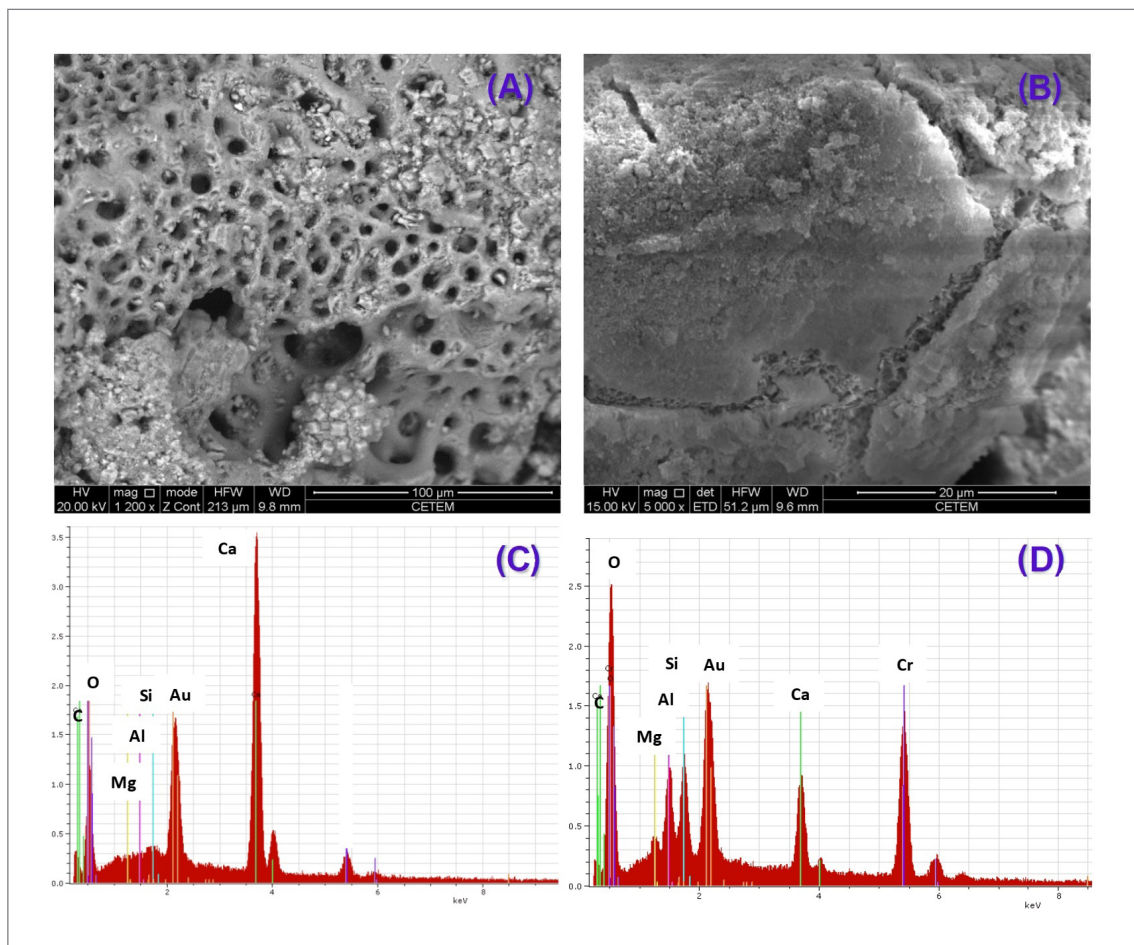


Figura 4.1 - Micrografias/espectros de partículas de granulado bioclástico antes (A e C) e depois (B e D) do processo de sorção, Veneu *et al.* (2016).

Melo (2006) utilizou a farinha de *Lithothamnium* na alimentação de codornas japonesas e conseguiu bons resultados no fortalecimento das cascas dos ovos.

Segundo ALGAREA (1997), a utilização da farinha de algas marinhas – Suminal® (*Lithothamnium calcareum*), na ração de aves de postura, poderia melhorar a qualidade dos ovos por maior resistência à quebra, tanto no aviário quanto no transporte, em razão de sua estrutura, que garante maior biodisponibilidade e absorção dos nutrientes.

Assoumani (1997) concluiu, em estudos com ratos, que o uso da farinha de algas *Lithothamnium* em relação ao calcário, apresentou vantagens no crescimento do osso fêmur e na biodisponibilidade de cálcio, sugerindo que provavelmente a concentração de magnésio e a porosidade da alga seriam os responsáveis pelas diferenças.

Empresas no Brasil, como a Oceana Minerals e a Algarea Mineração, estão produzindo e comercializando derivados de algas calcárias marinhas para diversas culturas, tais como: cebolas, uvas, milho, feijão, entre outras e para rações de aves, suínos e bovinos.

4.5. PRODUTOS COMO RESULTADO DIRETO DO PROJETO GRANMAR

Alguns dos resultados diretos do projeto foram publicados e estão disponíveis no Repositório Institucional de Geociências (RIGeo-CPRM), assim como no GeoSGB (antigo Geobank) do SGB-CPRM. A seguir, alguns dos dados mais importantes serão listados:

Em 2007, foi publicado o primeiro Informe da Série Recursos Minerais Marinhos com o título: "Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Leste do Ceará", com mais três cartas texturais da área de estudo. O informe pode ser encontrado em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/1743>).

Em 2014, foram publicadas quatro cartas da plataforma insular do Arquipélago de Fernando de Noronha: batimetria, declividade, modelo digital do terreno e flutuação do nível médio do mar (Assis *et al.*, 2014a, 2014b, 2014c e 2014d), todas na escala 1:18.000, disponíveis para *download* em (<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17497> e no GeoSGB).

A "Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental rasa de Pernambuco", escala 1:250.000 (Assis *et al.*, 2015) foi publicada junto com o SIG dos dados, e estão disponíveis em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21614>).

A "Carta Batimétrica da Plataforma Continental do Estado de Alagoas" (Assis *et al.*, 2015), escala 1:250.000, foi um dos resultados da tecnologia de aerolevanteamento a laser do fundo marinho, conhecida internacionalmente como *Airborne Laser Bathymetry* (ALB), imageamento sonográfico, associados a foto/filmagem

e coleta de material do capeamento litológico. O mapa pode ser encontrado em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21618>)

A "Carta Textural da Plataforma Rasa do Rio Grande do Norte, Setor Touros", escala 1:100.000 (AMARAL *et al.*, 2015) foi publicada junto com o SIG dos dados e estão disponíveis em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21615>) e no GeoSGB.

Em 2016, foram publicadas quatro cartas texturais e geomorfológicas da Plataforma Rasa de Alagoas, Setores Porto Calvo, Maceió Leste, Maceió Oeste e Piaçabuçu – escala 1:100.000 (Assis *et al.*, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d), que estão disponíveis, respectivamente, em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16914>, <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17191>, <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16915>) e (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16916>).

Foi publicado um DVD com detalhes sobre a aplicação da tecnologia laser LiDAR no mapeamento da plataforma insular de Fernando de Noronha. O vídeo pode ser encontrado em (<https://www.youtube.com/watch?v=Qwn-QtJLG9M&t=15s>).

Em 2018, foi publicado o mapa textural do Setor Bitupitá com o título "Carta textural da Plataforma Rasa do Ceará Oeste: Setor Bitupitá, na escala 1:100.000 (Bezerra *et al.*, 2018). O mapa está disponível para *download* no GeoSGB ou no RIGeo, em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20509>).

O "Mapa de Integração das Litofácies da Plataforma Continental Rasa e da Geologia do Continente do Estado de Alagoas" apresenta a integração geológica e geomorfológica continente/plataforma de Alagoas, na escala 1:250.000 (Assis *et al.*, 2019). O estado de Alagoas é o único estado brasileiro que apresenta integração no seu território terrestre e marítimo. Isto foi possível, principalmente, pela realização do levantamento LiDAR, que mapeou toda a extensão da plataforma continental de Alagoas até 30 metros de profundidade, com resolução espacial de 5 metros, fato ainda não ocorrido nas plataformas dos demais estados da Federação. O mapa encontra-se no GeoSGB e no RIGeo em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20507>).

A "Carta Textural e Geomorfológica da Plataforma Insular de Fernando de Noronha" – escala 1:18.000 apresenta a integração da faciologia e da litologia das ilhas e plataforma insular do Arquipélago de Fernando de Noronha. A publicação pode ser encontrada em (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21227>).

Valle (2018) estudou a "Caracterização das Feições Sedimentares da Plataforma de Alagoas", com base no levantamento aerobatimétrico LIDAR. A dissertação está disponível no RIGeo (<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20817>).

5. MAPEAMENTO DOS RECURSOS MINERAIS MARINHOS

Mais do que a prospecção em si, esta pesquisa visa contribuir para o inventário dos recursos minerais marinhos da plataforma continental do Brasil, de modo a identificar áreas com importantes insumos, necessários e adequados às demandas do país e com menor restrição, onde a exploração e a exploração de agregados marinhos sejam possíveis em relação aos recursos, às atividades pesqueiras e ao ambiente biológico.

Na zona costeira e em áreas marinhas rasas, como na plataforma continental, podem ser encontrados diversos recursos minerais, dependendo de fatores como a localização, o clima, a ação dos ventos, das correntes, das ondas e das marés, bem como pode guardar estreita relação com a geologia e a morfologia local e regional.

Variações no nível relativo do mar, que ocorrem em escala temporal de dezenas de milhares de anos, fazem com que os processos atuantes na zona costeira atuem em posições variadas ao longo do tempo. Desta forma, o recobrimento e exposição de áreas de acúmulo de sedimentos de valor econômico, tais como pláceres de minerais pesados, podem ocorrer na faixa de transição entre o continente e o mar, tanto na porção emersa

da zona costeira como submersos na plataforma continental (Figura 5.1).

A plataforma continental recebe, além dos fragmentos minerais produtos da denudação continental trazidos pelos rios com contribuições pluviais, os sedimentos da deriva litorânea e outros do próprio ambiente marinho que passam a ser retrabalhados. A hidrodinâmica, os eventos meteorológicos extremos e, por vezes, a intervenção antrópica, via de regra, provocam movimentações sedimentares no assoalho marinho, que tanto distribuem como concentram mineralizações, tais como, bancos de agregados marinhos (areias e cascalhos terrígenos ou biogênicos), mineralizações em paleovales, em dunas subaquáticas e em depósitos praias com a ocorrência de minerais metálicos. A Figura 5.1 busca ilustrar a ocorrência de algumas dessas mineralizações.

Os pláceres, apesar de estarem originalmente ligados apenas ao conceito de agrupamento de minerais pesados (PALMA, 1979; AGUIAR NETO, 2014), normalmente são acumulações sedimentares formadas pela concentração mecânica de minerais detríticos de valor econômico, incluindo diversos bens metálicos ou gemas, originados a partir da decomposição e erosão

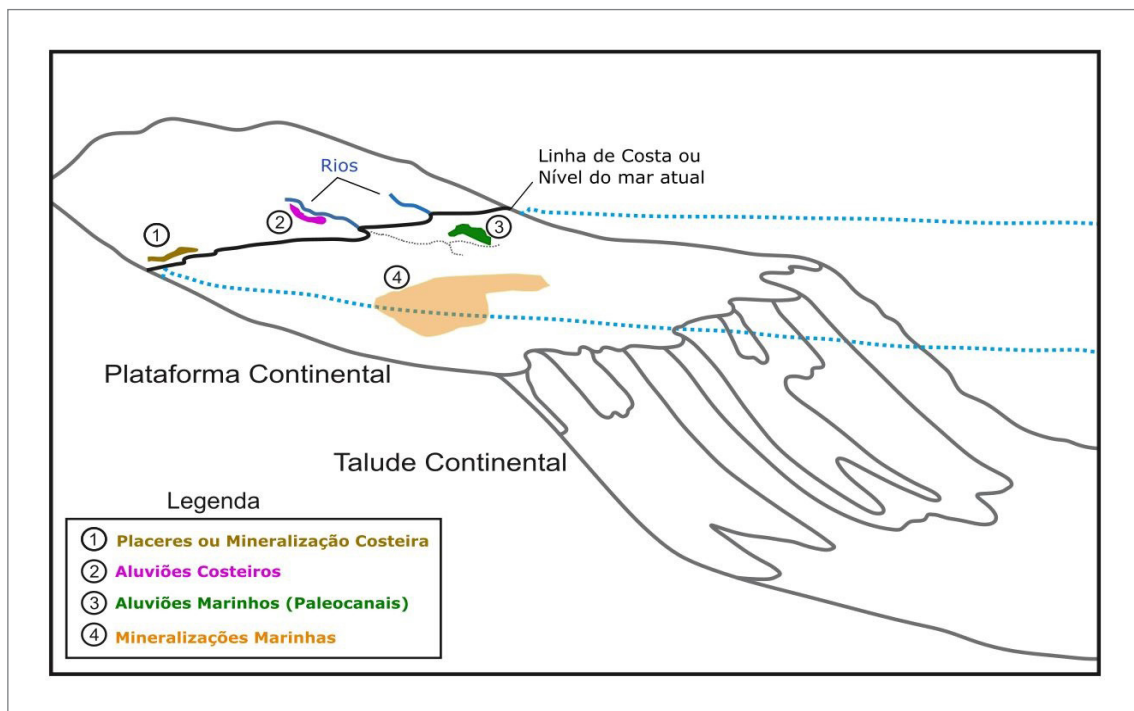


Figura 5.1 - Exemplos de algumas das mineralizações na plataforma continental e na zona costeira.

de rochas-fonte, principalmente ígneas, e também de rochas metamórficas e sedimentares (SILVA, 2000).

Segundo Santana (1997), os depósitos de pláceres contribuíam com 75-100% da produção mundial de ilmenita, rutilo, zircão e monazita, sendo que parte era proveniente de ocorrências marinhas.

Depósitos aluvionares também ocorrem submersos no ambiente marinho, como antigos aluviões fluviais e costeiros. Esses depósitos encontram-se submersos por alguns milhares de anos, resultado do aumento do nível do mar após a última Era Glacial, cujo máximo ocorreu há cerca de 20 mil anos. Em alguns países são explorados entre 10 e 30 m de profundidade na plataforma continental, como é o caso da concessão de agregados marinhos de *Dieppe*, na costa de *Seine-Maritime*, na França (Figura 5.2), numa área de 5,9 km². O grupo *Graves-de-Mer* proprietário da licença, recebeu a concessão da área por um período de trinta anos.

No Brasil, há alguns casos de exploração de minerais siliciclásticos metálicos, como foi em Mataraca no estado da Paraíba, onde o Grupo Cristal no Brasil realizava a extração do minério de titânio (Ilmenita), encerrando suas atividades em 2018, após 35 anos de aproveitamento econômico da jazida. O fechamento da mineradora, que gerava mais de 200 empregos diretos no município, provocou grande impacto na economia local, com recessão e prejuízo para pequenas empresas e comércios, representando uma perda anual de aproximadamente R\$ 12 milhões oriundos de ICMS.

5.1. AMOSTRAGEM

A amostragem geológica com a coleta dos sedimentos superficiais no Setor Bitupitá com um adensamento da ordem de 1:100.000, representando um espaçamento amostral de 1.000 metros para cada amostra coletada, foi a principal informação na avaliação e no diagnóstico das características do substrato marinho, no que diz respeito aos recursos não vivos.

Outros dados somaram-se à análise e à interpretação das informações geradas, permitindo traçar o conhecimento das características dos sedimentos estudados, bem como analisar a qualidade e o potencial de aproveitamento econômico de forma sustentável, respeitando e dialogando com outras atividades, em equilíbrio com o meio ambiente.

A região estudada encontra-se na porção mais ocidental da plataforma continental do Ceará, limite com o Piauí. Representa cerca de 9% da plataforma continental cearense e 14% da plataforma continental oeste cearense, estendendo-se de Fortaleza até a divisa com o Piauí. Localiza-se numa faixa da plataforma continental de aproximadamente 40 quilômetros de linha de costa e 60 quilômetros de extensão mar adentro em direção ao talude continental.

Foram identificados sedimentos de diversas origens e tipos, desde fragmentos de conchas, briozóários, algas vermelhas e verdes, até componentes minerais detríticos quartzosos, assim como minerais metálicos

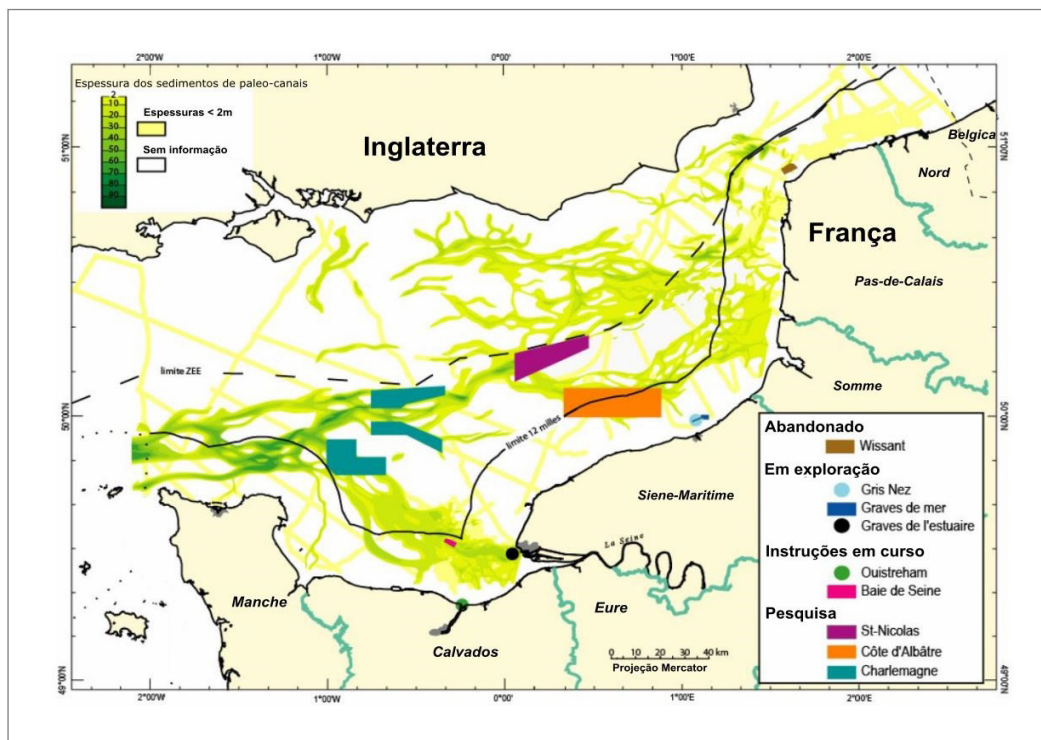


Figura 5.2 - Mapa da plataforma francesa com espessuras dos sedimentos em paleocanais e áreas de pesquisa e exploração marinhas. Fonte: Sextante – adaptado de Ifremer.

de maior densidade e resistência. Dentre os sedimentos estudados trataremos os resultados englobando os dois tipos principais de ocorrências minerais: os litoclásticos e os bioclásticos.

5.2. BATIMETRIA

Foram geradas duas superfícies como resultado dos dados batimétricos na área em estudo. O produto batimétrico principal, fruto da análise dos dados coletados com o acréscimo de outros dados já existentes, e a superfície extraída da análise de imagens de satélite.

O resultado batimétrico produzido com os dados coletados cobriu uma área de cerca 2.300 km² na região de sua influência, sendo 37,5 km de linha de costa e 61,4 km mar adentro em direção à borda da plataforma continental. O mapa batimétrico (Figura 5.3) revela, no trecho da plataforma continental, uma superfície suave de inclinação para o talude, com uma extensão considerável da plataforma. Partindo de um perfil no centro da área e da linha de costa para o mar adentro encontram-se profundidades de 10

metros a 4,8 km de distância, cerca de 30 km até a isóbata de 20 metros e 43,5 km até a profundidade de 30 metros.

A Figura 5.3 apresenta o mapa batimétrico em duas perspectivas (2D e 3D), onde verifica-se o comportamento morfológico monótono desde as menores profundidades até os 20 metros, principalmente, na região inferior central a oeste. No setor leste, até a isóbata de 20 metros, o relevo apresenta-se mais irregular com pequenas depressões e montes de pouca variação batimétrica.

O padrão de inclinação da plataforma em direção à quebra do talude apresenta-se regular, com exceção de uma diferença nos setores leste e oeste do mapa, com o aumento da profundidade no lado leste (Figura 5.3), o que pode ser visto tanto no mapa 2D como no 3D. A região leste do mapa apresenta-se quase que totalmente irregular, sugerindo a presença de variações morfológicas de um provável paleocanal ou antigos leitos fluviais na plataforma em períodos glaciais, explicando as irregularidades morfológicas.

De forma geral, a superfície batimétrica apresenta pequenas elevações e depressões não muito

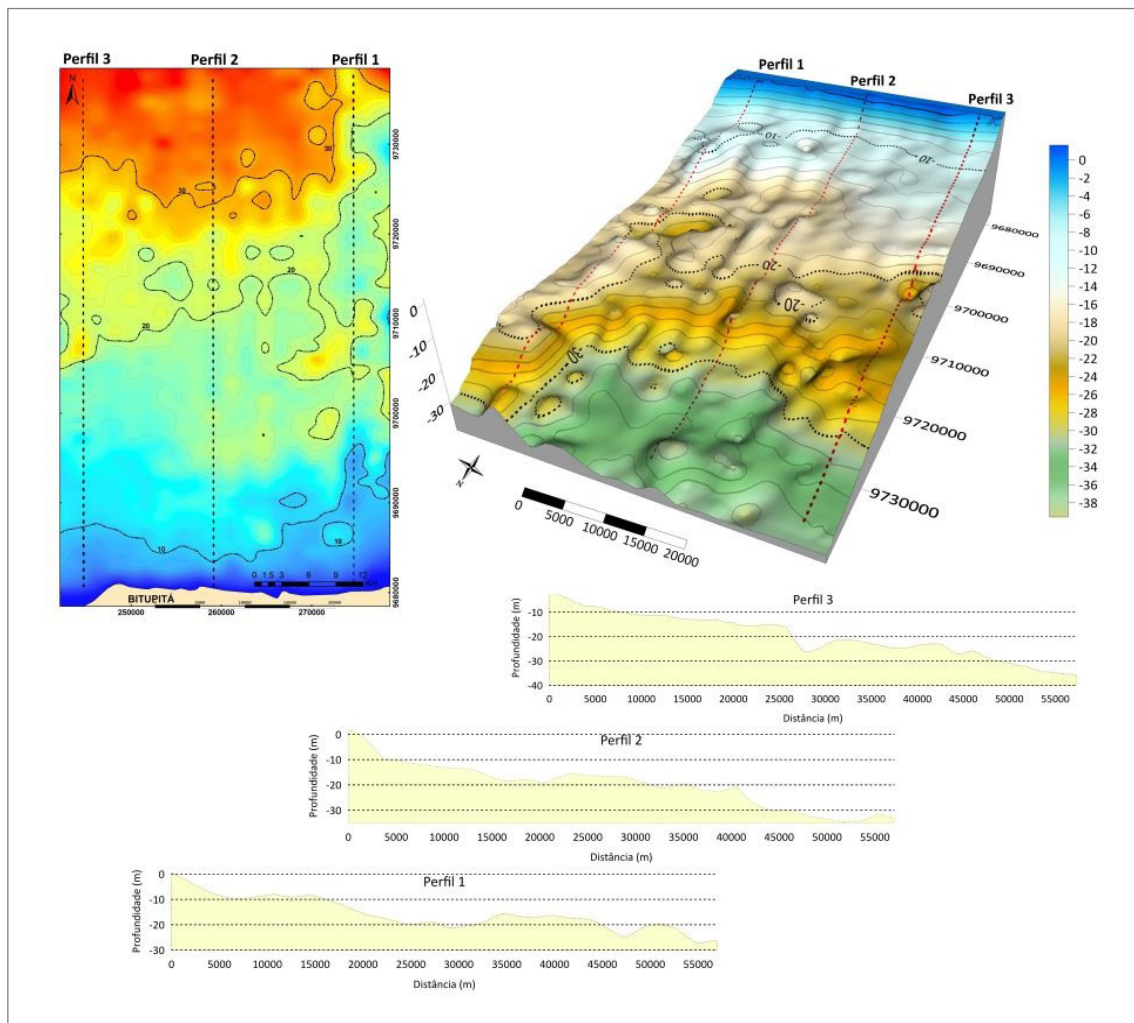


Figura 5.3 - Mapa batimétrico de Bitupitá, 2D à esquerda, 3D à direita e perfis batimétricos, em baixo. FONTE: Os autores.

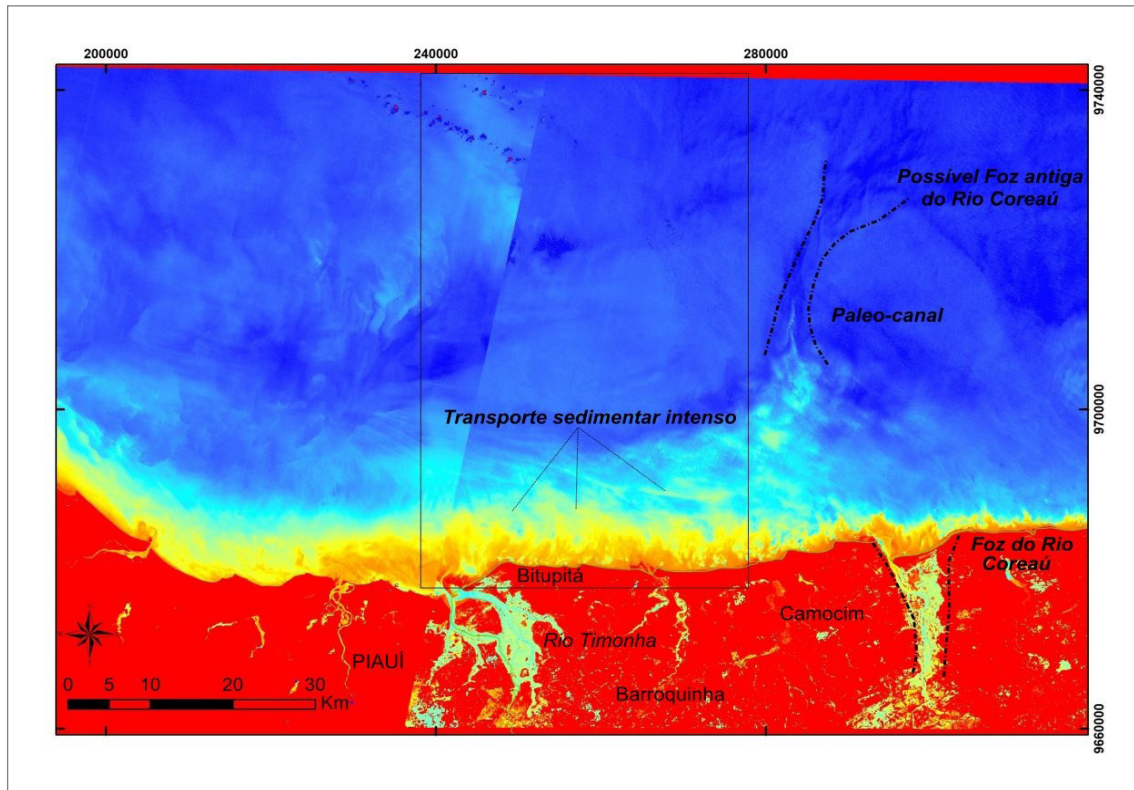


Figura 5.4 - Mapa batimétrico resultado do processamento de imagens de sensoriamento remoto da área de estudo. FONTE: Os autores

significativas na região central do mapa, que indicam ambientes heterogêneos na área, podendo ser barreiras ou acumulações de mineralizações.

Como resultado do mapa batimétrico extraído de imagens de sensoriamento remoto, tem-se uma extensão maior de área mapeada, equivalente 7.000 km², que engloba, no centro, o Setor Bitupitá (Figura 5.4), e com registro de informações de fundo com cerca de 40 quilômetros lateralmente, tanto para leste quanto para oeste.

Dois aspectos muito interessantes são percebidos no mapa batimétrico produzido através de imagens de satélite. O primeiro diz respeito ao intenso movimento lateral de leste para oeste, fruto da forte dinâmica litorrânea local, evidenciado pelas marcas de fundo com direção SE para NW percebidas na imagem em menores profundidades até os 10 metros.

Outra informação importante revelada na superfície batimétrica maior é o comportamento do fundo imediatamente a leste da área mapeada, indicada pela linha preta. Nesse setor, a imagem batimétrica por satélite parece registrar o leito de um antigo paleovale ou paleocanal, localizado ao lado da área mapeada, com direção de fluxo para norte/nordeste em direção ao talude. A presença de um provável paleocanal naquela posição pode ser a explicação mais plausível para as variações batimétricas no mapa.

Tal evidência é de extrema importância e merece maior atenção em futuras pesquisas prospectivas no

que se refere a prováveis acumulações e mineralizações, normalmente associadas a regiões fluviais, que podem ter ocorrido tanto na zona costeira, em períodos de regressão do nível do mar, como no ambiente marinho, por processos oceanográficos da plataforma continental.

5.3. SEDIMENTOLOGIA

As análises realizadas nos sedimentos coletados trazem informações que impactam fortemente no diagnóstico da sedimentação local, que são relevantes sobre a composição mineral, teores de componentes inorgânicos e orgânicos encontrados. É o caso dos teores de carbonato de cálcio, os percentuais de Cálcio, Magnésio e outros óxidos importantes, além dos elementos menores de importantes aplicações, como os oligoelementos (Fe, Mn, B, Ni, Cu, Zn, Mo, Se e Sr, dentre outros). Estes últimos são fundamentais para a formação de enzimas vitais em determinados processos bioquímicos, como a fotossíntese ou a digestão.

Os oligoelementos, também denominados de microelementos, ou elementos-traço, são de baixo peso molecular, podendo ser definidos como os catalisadores no metabolismo das reações enzimáticas dos seres vivos. São sais minerais que estão presentes no organismo de forma ínfima, em concentrações medidas em mg/kg ou ppm (partes por milhão) de peso vivo, que são expressos por traços nos resultados dos exames, porém com função

imprescindível para que o equilíbrio orgânico seja mantido nas células vivas animais e vegetais (WATANABE, 2010).

No LGMA/UFC, foram realizadas 1.012 análises granulométricas em amostras de sedimentos marinhos da área de estudo. Não foi possível analisar a granulometria apenas das amostras recuperadas de material consolidado, como fragmentos de coral e rodolitos. Em algumas ocasiões, a coleta não recuperava amostra alguma e a estação era abandonada após diversas tentativas. As razões podem ser desde fundos consolidados até efeitos de correntes e sua interferência na performance de buscadores de fundo eventualmente leves, mau tempo, o próprio equipamento, dentre outras.

Entre os resultados da granulometria estão os teores das frações cascalho, areia e os finos (silte e argila). O cascalho tem granulometria acima de 2 mm, a areia entre 2 e 0,063 mm e os finos possuem granulometria inferior a 0,063 mm. A análise dos finos, feita por pipetagem, só foi realizada em amostras com teor de fino igual ou superior a 20%. Apenas 30 amostras, dentre as 1.012, apresentaram teores de finos superiores a 20%.

Na caracterização textural dos sedimentos, foi utilizado o sistema de classificação de Shepard (1954), modificado por Schlee (1973) e por Poppe (2004). Os *softwares* SedClass e SedPlot, do USGS foram utilizados na classificação e na representação gráfica da distribuição dos tamanhos dos grãos de sedimentos em diagramas ternários (Figura 5.5).

O diagrama de Shepard, modificado por Schlee (1973) e Poppe (2004), foi escolhido como o mais adequado e, doravante, será chamado de classificação textural de Shepard-Schlee-Poppe. Devido aos baixos teores de sedimentos finos (silte e argila), no conjunto de sedimentos analisados nesta pesquisa, foram encontradas, dentre as 13 classes texturais da classificação a ocorrência de apenas cinco classes: Cascalho, Sedimento Cascalhoso, Areia, Areia Siltosa e Areia Argilosa.

O cascalho (50-100% cascalho; 0-50% areia; 0-50% lama), sedimento cascalhoso (10-50% cascalho; 0-50% areia; 0-10% lama), areia (0-10% cascalho e 75-100% areia), silte (0-10% cascalho e 75-100% silte) e argila (0-10% cascalho e 75-100% argila).

Nas 1.012 amostras de sedimentos analisadas (Figura 5.6) 456 foram classificadas como sedimento cascalhoso (45,1%), 382 como areia (37,8%), 166 como cascalho (16,4%), 5 como areia argilosa (0,5%) e 1 como areia siltosa (0,1%).

Os sedimentos cascalhosos ocorrem distribuídos por praticamente toda a área pesquisada, com predomínio nas baixas profundidades em toda extensão mais rasa até os 12 metros de profundidade e, posteriormente, predomina numa faixa a partir dos 15 até os 25 metros. Ocorre normalmente associado com o cascalho. Cobre no total uma área de 886 km², o que representa 45% de toda a área (Figuras 5.6 e 5.7).

A areia ocorre distribuída em quase todas as profundidades, porém com predomínio nos setores sudeste e norte, para além da profundidade de 26 metros. Ocorre, também, com menor frequência, areia siltosa em duas pequenas áreas, em torno dos 25 metros, e outra pequena área com areia argilosa na isóbata de 20 metros, na porção central leste do mapa. Estão distribuídas em 751 km² de área, representando 38% de toda a região mapeada.

Os cascalhos ocorrem por toda a área, sempre em manchas pequenas no mapa e separadas entre si, cobrindo uma área de 319 km² (16% do total) e, normalmente, associados aos sedimentos cascalhosos.

Na Figura 5.8 encontra-se o diagrama ternário de Shepard-Schlee-Poppe, com os dados plotados das amostras analisadas. As amostras encontram-se distribuídas entre as texturas areia, sedimento cascalhoso e cascalho, com baixos percentuais de finos.

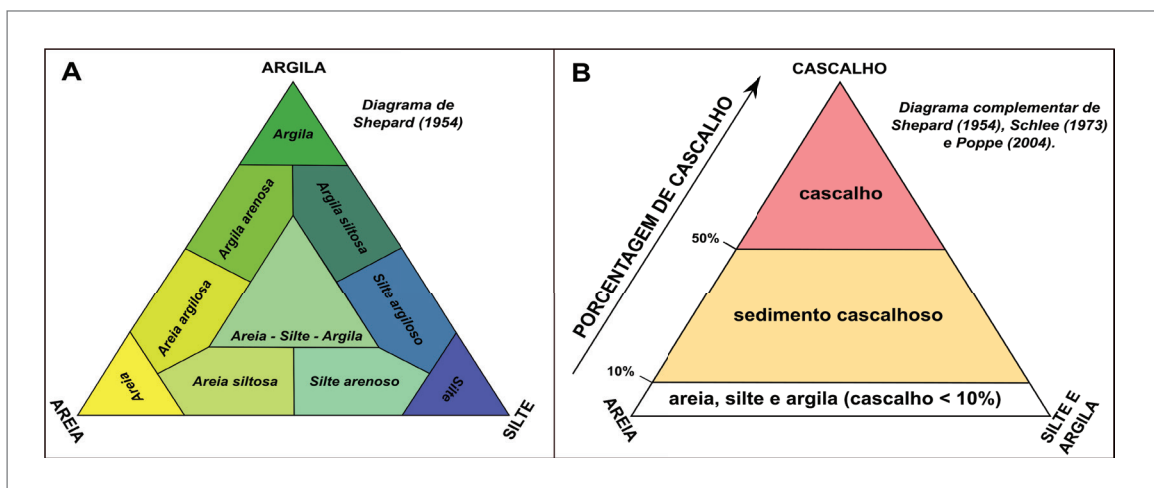


Figura 5.5 - Diagramas ternários de (A) Shepard (1954) para finos; e (B) Shepard, modificado por Schlee (1973) e Poppe (2004).

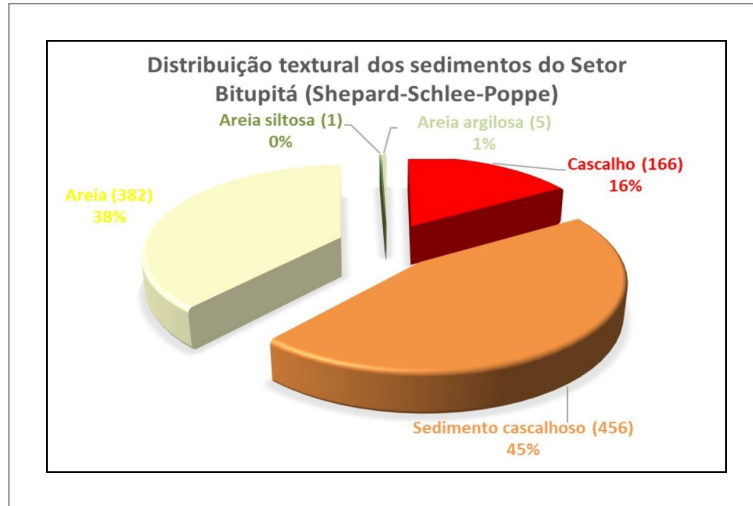


Figura 5.6 - Percentuais texturais dos sedimentos na área em estudo. Fonte: Os autores.

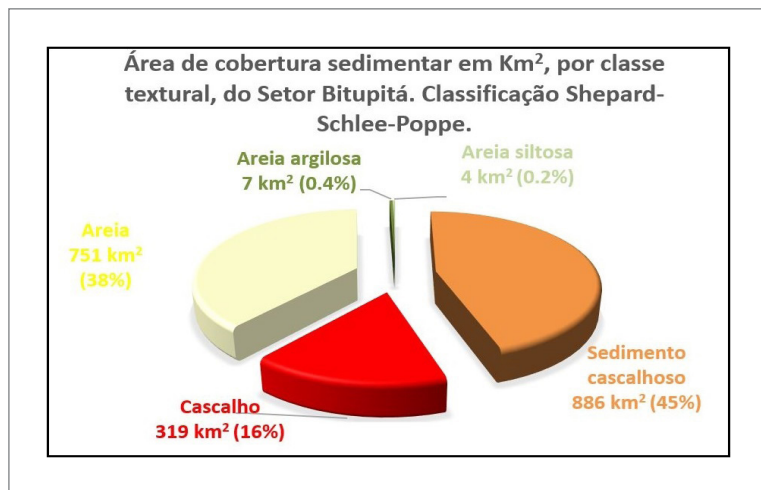


Figura 5.7 - Valores de áreas cobertas pelas texturas mapeadas na área de pesquisa. Fonte: Os autores.

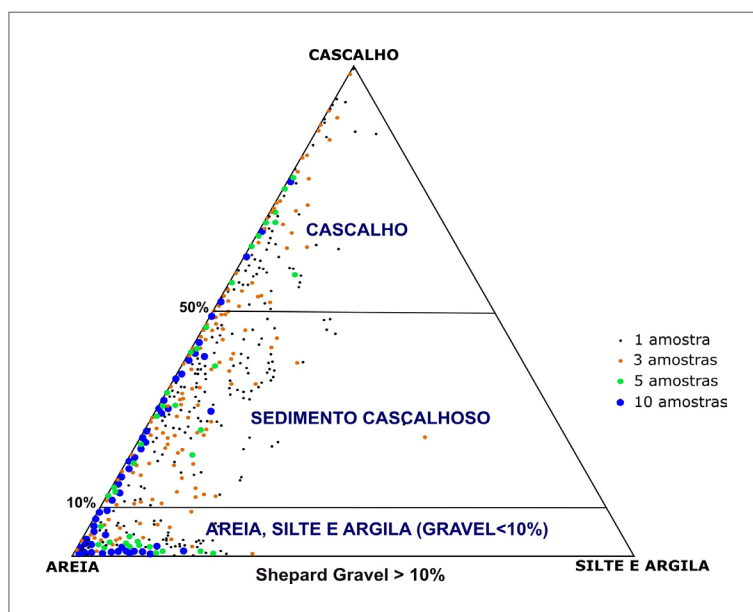


Figura 5.8 - Diagrama ternário Shepard-Schlee-Poppe, com os dados sedimentares da área de estudo. Fonte: Os autores.

No diagrama ternário dos finos (Figura 5.9), devido aos baixos teores de silte e argila, os pontos concentram-se em areia, na sua maioria, e pequenas quantidades de areias siltosa e argilosa.

Em relação às principais texturas, cascalho e areia, e sob a ótica dos percentuais em comparação com o resultado da classificação de Shepard-Schlee-Poppe, observam-se as ligações entre elas, permitindo compreender melhor a distribuição sedimentar na área, ou seja, prevalecem as frações mais grossas com pouca ou quase nenhuma ocorrência de sedimentos finos ou muito finos. A Figura 5.10 apresenta os mapas com os percentuais de cascalho e areia, mostrando a sobreposição das classes faciológicas individualizadas e em conjunto.

Os percentuais de cascalho e areia, apesar de não terem sido utilizados como apoio para a confecção do mapa faciológico-textural, apresentam grande coerência com os polígonos definidos pela interpretação geológica.

Os quatro primeiros mapas da primeira linha apresentam, em cores, os percentuais de areia em quatro classes (0% a 25%; 25% a 50%; 50% a 75%; e 75 a 100%). Do primeiro ao quarto mapa, estão sobrepostos os polígonos

da interpretação geológica, com areia no primeiro mapa, cascalho no segundo, sedimento cascalhoso no terceiro e todas as texturas no quarto.

Nos mapas da segunda linha com os percentuais de cascalho em quatro classes, observam-se os polígonos das texturas interpretadas sobrepostas, areia, cascalho, sedimento cascalhoso e todas elas juntas, nos mapas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Os quatro últimos mapas da terceira fila trazem os polígonos das texturas interpretadas separadamente e todas juntas no mapa 4.

A relação das texturas com os teores de cascalho e areia são percebidas em vários mapas, porém ficam mais evidentes no confronto entre os percentuais de areia e a textura areia no mapa 1, a textura cascalho com percentuais mais elevados de areia e, também, a textura sedimento cascalhoso bem encaixada nos valores de percentuais intermediários de porcentagem de areia. A superposição e o encaixe das texturas podem ser verificados nos mapas da segunda fila, com os percentuais de cascalho menos evidentes que na comparação com os percentuais de areia.

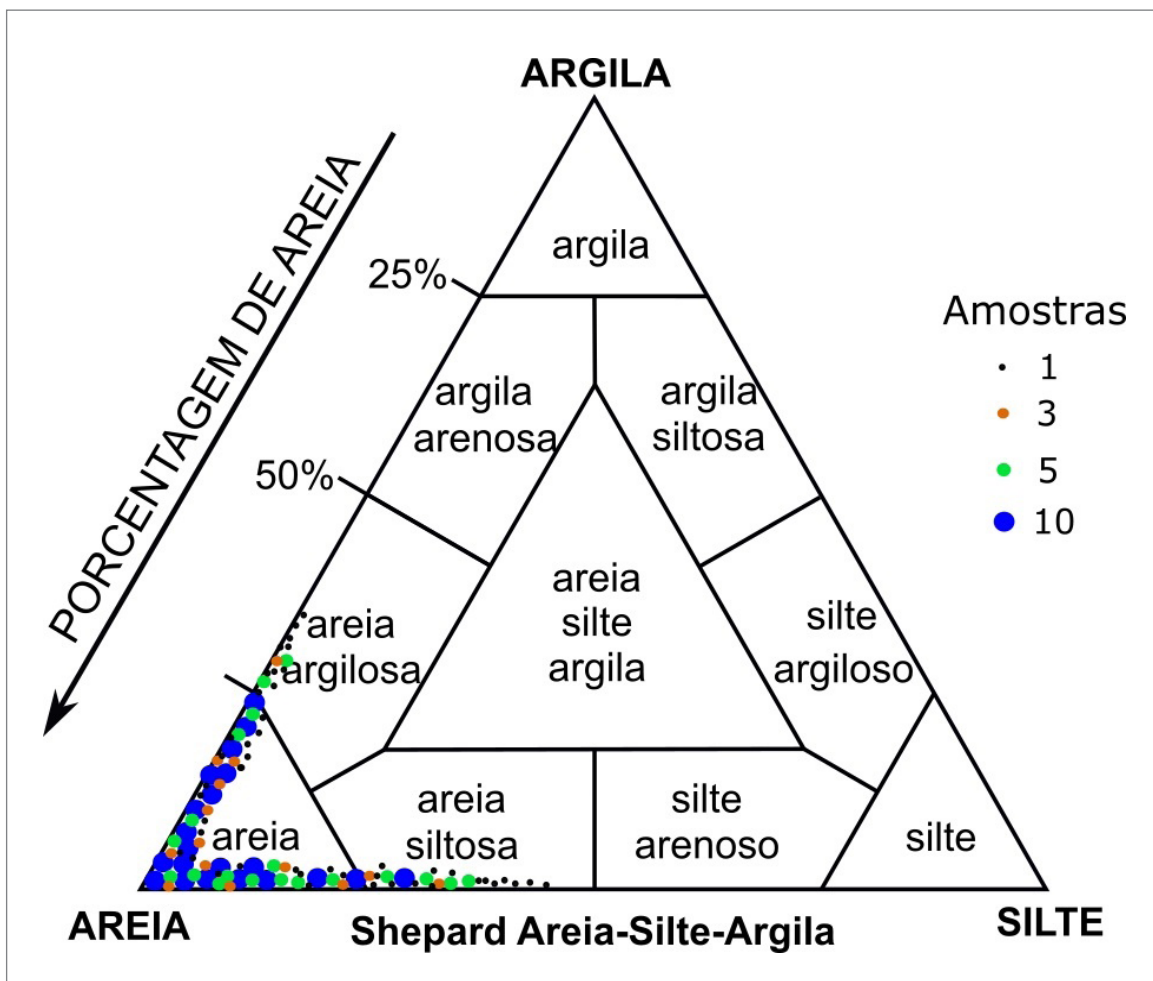


Figura 5.9 - Diagrama ternário dos finos com os dados sedimentares da área de estudo. Fonte: Os autores.

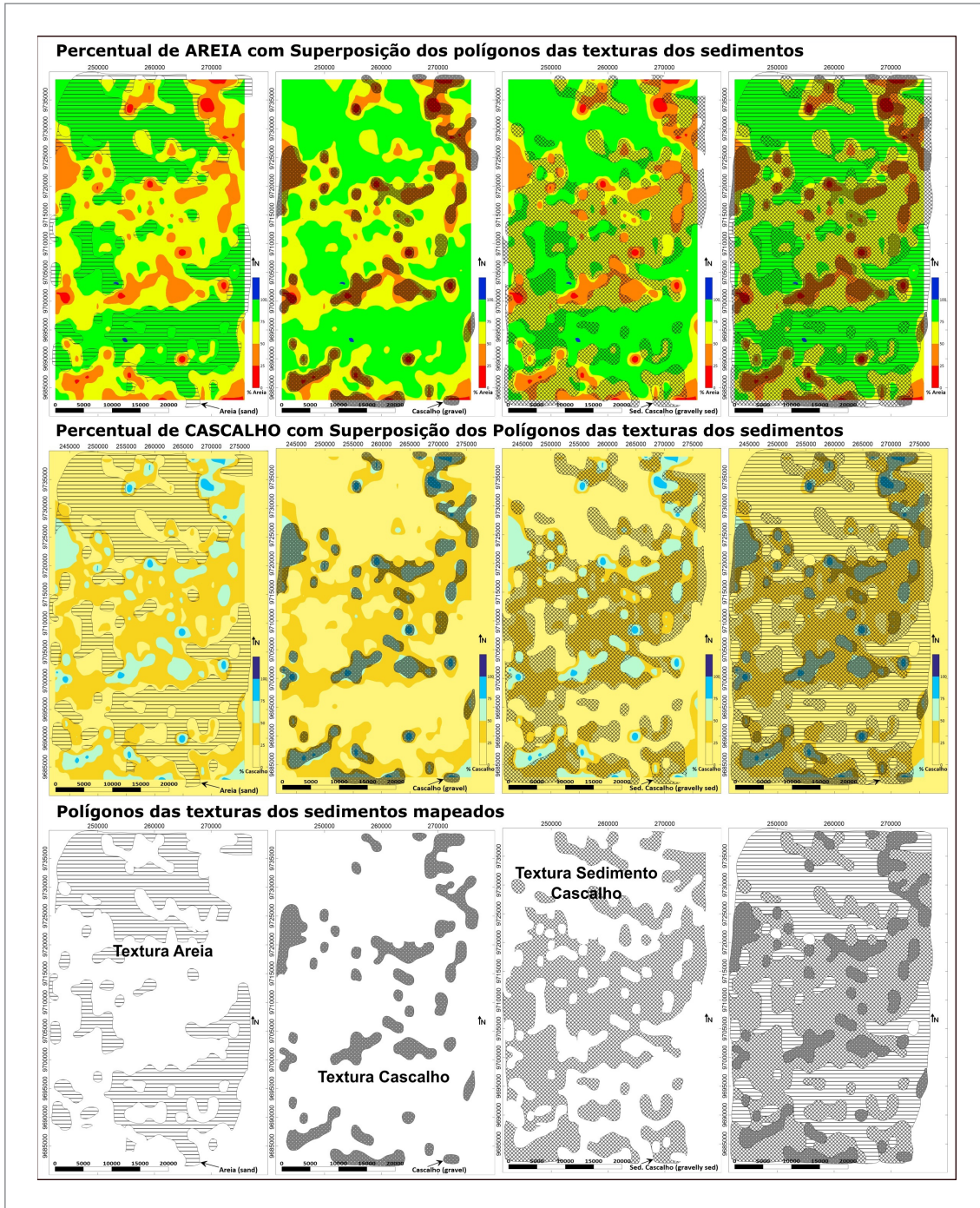


Figura 5.10 - Mapas com a relação dos percentuais de cascalho e areia e as classes texturais da classificação de Shepard-Schlee-Poppe. Fonte: Os autores.

5.3.1. Teores de Carbonato de Cálcio (CaCO_3)

O carbonato de cálcio (CaCO_3) apresenta um panorama de altos teores em diferentes texturas. De todas as 1.010 amostras analisadas, 52% apresentaram teores de CaCO_3 igual ou superior a 90%; em 74% das amostras, ficou acima de 75%; e, por fim, em cerca de 91%, acima de 50% (Tabela 5.1). É possível então perceber que a análise do CaCO_3 indica que a sedimentação é bastante carbonática, apesar de mista.

Das 456 amostras de sedimentos cascalhosos analisadas, em 365, o percentual de CaCO_3 está acima de 75%, ou seja, 80% apresentam, altos teores de carbonato de cálcio. Em relação às outras classes texturais, são também frequentes os percentuais de CaCO_3 acima de 90%, ultrapassando 50% em quase todos os grupos, com exceção da areia, que apresentou 41% de CaCO_3 e da areia siltosa, que não possui carbonato de cálcio. Os cascalhos possuem teor de CaCO_3 maior ou igual a 90% em 50% das amostras. Para o mesmo percentual de

Tabela 5.1 - Teores de carbonato de cálcio (CaCO₃) e percentuais nos sedimentos analisados.

SEDIMENTOS BITUPITÁ		CACO ₃ >90%		CACO ₃ >75%		CACO ₃ >50%	
Cascalho	166	83	50%	118	71%	147	89%
SedimentoCascalhoso	456	279	61%	365	80%	420	92%
Areia	382	155	41%	263	69%	348	91%
AreiaSiltosa	1	0	0%	0	0%	0	0%
AreiaArgilosa	5	4	80%	4	80%	5	100%
Total	1010	521	52%	750	74%	921	91%

CaCO₃ (≥90%) temos: 61% dos sedimentos cascalhosos e 80% das areias argilosas.

Os percentuais gerais divididos em 10 classes (Figura 5.11) permitem visualizar o padrão de teores de CaCO₃ com 521 amostras, onde mais de 50% possui acima de 90% de CaCO₃.

5.3.2. Ocorrências siliciclásticas

Na plataforma continental do Ceará, encontra-se a maior distribuição de sedimentos da província siliciclástica do Nordeste brasileiro, predominando em toda a plataforma interna, limitada por profundidades menores que 20 metros (MORAES, 2007).

A sedimentação terrígena tem origem continental, porém os sedimentos são retrabalhados no ambiente marinho e o tamanho dos seus grãos reflete a energia hidráulica do ambiente. Ondas e correntes formam corpos de areia de águas rasas e os sedimentos permanecem inconsolidados no ambiente deposicional (JAMES e KENDALL, 1992). Essas e outras características diferenciam a sedimentação siliciclástica em comparação com a carbonática, por exemplo, gerando diferentes tipos de depósitos e controles de crescimento e distribuição.

O regime sedimentar costeiro no setor Bitupitá é dominado por ondas, com acumulações de material detrítico arenoso e cascalhoso que são submetidos a um alto grau de retrabalhamento antes de formarem os depósitos costeiros vistos atualmente (DAVIS e HAYES, 1984, *apud* BISI, 2015). Geralmente, os depósitos sedimentares são compostos por areia e cascalho lavados, bem selecionados e arredondados, contendo porções relativamente grandes de minerais e rochas mais resistentes, como o quartzo e minerais pesados (SWIFT e THORNE, 1991).

Os sedimentos siliciclásticos estão presentes em diversas amostras da área de estudo, não só em regiões de predomínio de sedimentação carbonática, como também incrustados em sedimentos carbonáticos como nos rodolitos. Apesar de haver locais de predomínio de apenas um tipo de sedimentação, a tendência é ter uma variação entre os componentes siliciclásticos e biogênicos

5.3.2.1. Bitupitá

Na área de estudo, foram analisados os minerais pesados de 25 amostras e identificados os seguintes: ilmenita, turmalina, monazita, hornblenda, sillimanita,

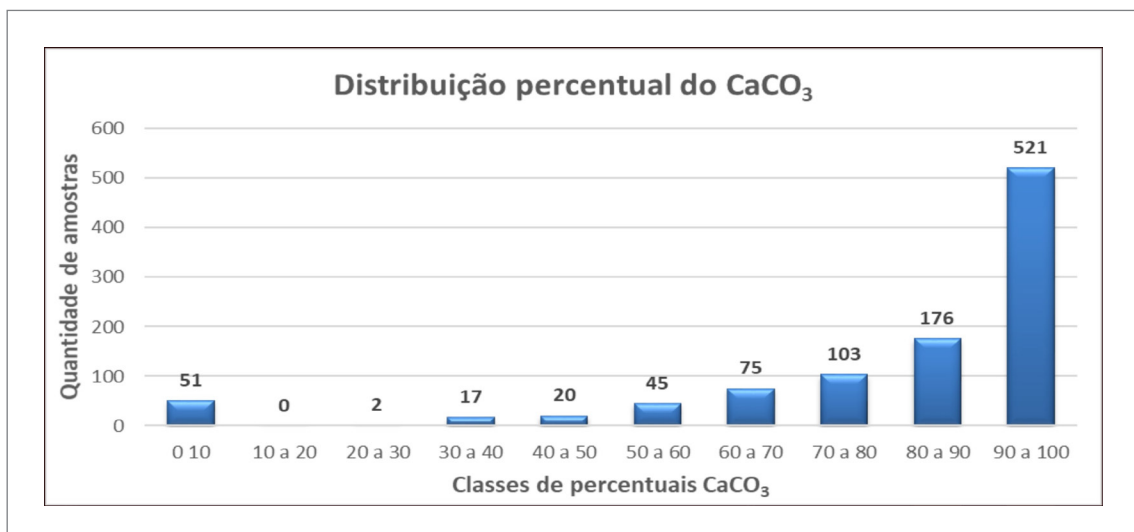


Figura 5.11 - Distribuição do teor de carbonato de cálcio nas amostras analisadas em 10 classes. Fonte: Os autores.

estauroilita, epidoto, rutilo, andalusita, zircão, cianita, granada, apatita, magnetita, cassiterita, espinélio, leucóxênio e diopsídio. Normalmente, o conteúdo em minerais pesados na areia é inferior a 2% (DIAS, 2004). Dentre os resultados, desta-se a ocorrência de cinco principais minerais com concentrações acima de 3%. São eles: ilmenita (49,9%), turmalina (29,1%), estauroilita (6,4%), epidoto (3,5%) e a monazita (3,4%).

Os minerais pesados identificados encontram-se distribuídos por toda a área estudada em profundidades variando entre 8 e 40 metros (Figura 5.12). Na sua maioria, ocorrem na textura sedimento cascalhoso (16 amostras), seguidos de areia (6) e cascalho (3). Dentre as espécies minerais, há predomínio de ilmenita, turmalina e estauroilita. A ilmenita além de ter a maior média dentre os minerais analisados, apresenta pelo menos 26% em todas as amostras e acima de 50% de ilmenita em 11 das 25 amostras (44%).

No mapa, é possível perceber a presença de minerais pesados por toda a área estudada, em baixas até altas profundidades. Outros minerais como silimanita, hornblenda, zircão e rutilo também ocorrem, porém com menores concentrações. A presença desses minerais por toda a área sugere a possibilidade de estarem concentrados, sendo oportuno e necessário um detalhamento voltado para o estudo dos minerais pesados e possíveis depósitos de pláceres.

Os minerais pesados têm sido cada vez mais aplicados pelas indústrias, devido ao desenvolvimento contínuo de novas técnicas de aproveitamento. Em consequência disso, a demanda por esse recurso mineral tem crescido mais rapidamente do que a descoberta de novas jazidas no continente, redirecionando a atenção para as potenciais reservas inexploradas das plataformas continentais, até então, consideradas economicamente inviáveis (ALMEIDA *et al.*, 2011).

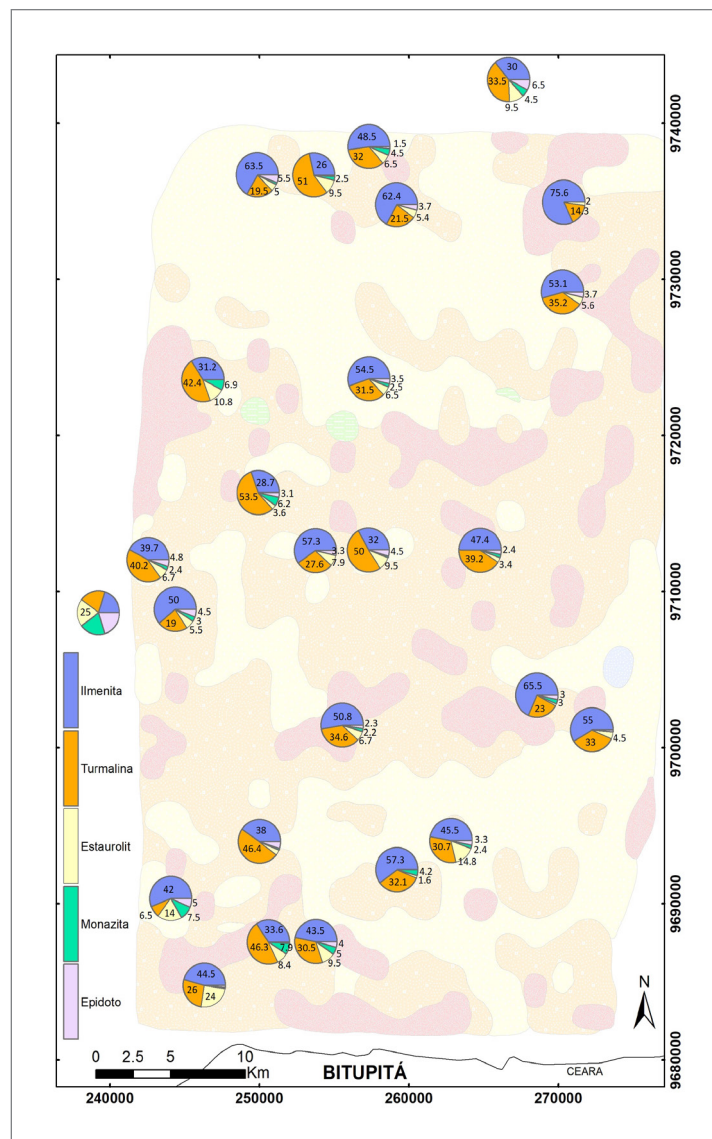


Figura 5.12 - Distribuição e percentuais das principais ocorrências de minerais pesados na área de estudo. Fonte: Os autores.

5.3.3. Ocorrências bioclásticas

No Brasil, os granulados bioclásticos marinhos são formados, principalmente, por algas calcárias, compostas basicamente por carbonato de cálcio e de magnésio e mais de 20 oligoelementos presentes em quantidades variáveis, como ferro, manganês, boro, níquel, cobre, zinco, molibdênio e estrôncio. São utilizadas para diversas aplicações, principalmente, na agricultura, mas também na potabilização de águas para consumo, na indústria de cosméticos, dietética, implantes ósseos, nutrição animal e tratamento das águas contaminadas (DIAS, 2000).

No que diz respeito à sedimentação carbonática, conhecidamente autóctone e relacionada a processos orgânicos, a produção e crescimento está diretamente relacionada ao ambiente oceânico, dependentes e controlados principalmente pela incidência de luz, temperatura da água e pela disponibilidade de nutrientes.

5.3.3.1. Caracterização das amostras de sedimentos marinhos bioclásticos

Dentre as diversas amostras coletadas e analisadas, muitas foram classificadas como de origem biogênica, resultado de acumulação de fragmentos de algas e carapaças de organismos marinhos bentônicos como conchas, foraminíferos etc.

Do conjunto de sedimentos foi selecionada uma amostra para constar como exemplo da sedimentação, onde retratou-se as principais características com a presença visual, localização e outras informações relevantes.

A amostra CE2.368A (Figura 5.13) é composta, majoritariamente, por sedimentos marinhos bioclásticos, texturalmente classificado como cascalho, de acordo com o esquema de Shepard-Schlee-Poppe, e coletado a cerca de 21 metros de profundidade. O sedimento apresenta 77,9% de carbonato de cálcio, formado por 52% de cascalho, 46% de areia e 1,7% de lama. Na Figura 5.13-B, encontra-se a fração de algas coralíneas do tipo *lithothamnium*, que teve sua composição química analisada separadamente. Os principais óxidos presentes são: 42,4% de CaO, 6,28% de MgO, 2,1% de SiO₂ e 44,9% de perda ao fogo.

Desta amostra, foram selecionados alguns fragmentos para análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV), conforme mostrado na Figura 5.14.

A microssonda eletrônica proporcionou o uso de uma técnica de análise não destrutiva *in situ*, revolucionando a química dos materiais nas últimas décadas. O equipamento combina os princípios do microscópio eletrônico, da microscopia óptica e da fluorescência de raios X, permitindo a determinação da composição química do material numa selecionada região com aproximadamente 1 µm de diâmetro (PORPHÍRIO, *et al.*, 2010).

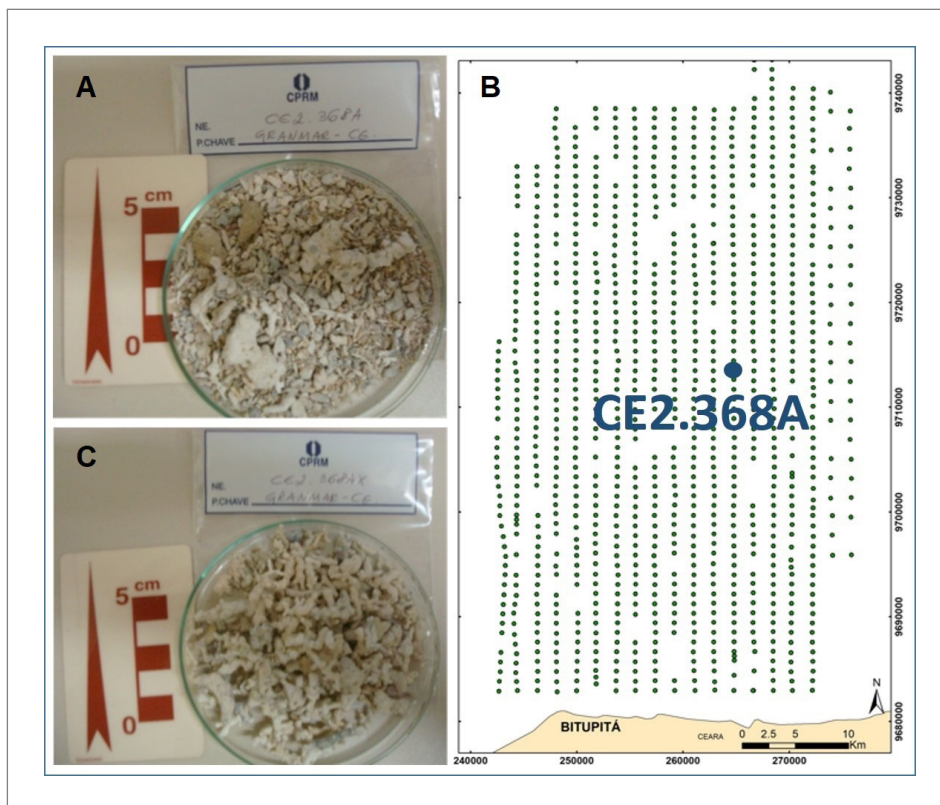


Figura 5.13 - Fotografias com sedimentos marinhos bioclásticos da amostra CE2.368A: (A) fração total; (B) Mapa de localização; e (C) o *lithothamnium* separado. Fonte: Os autores.

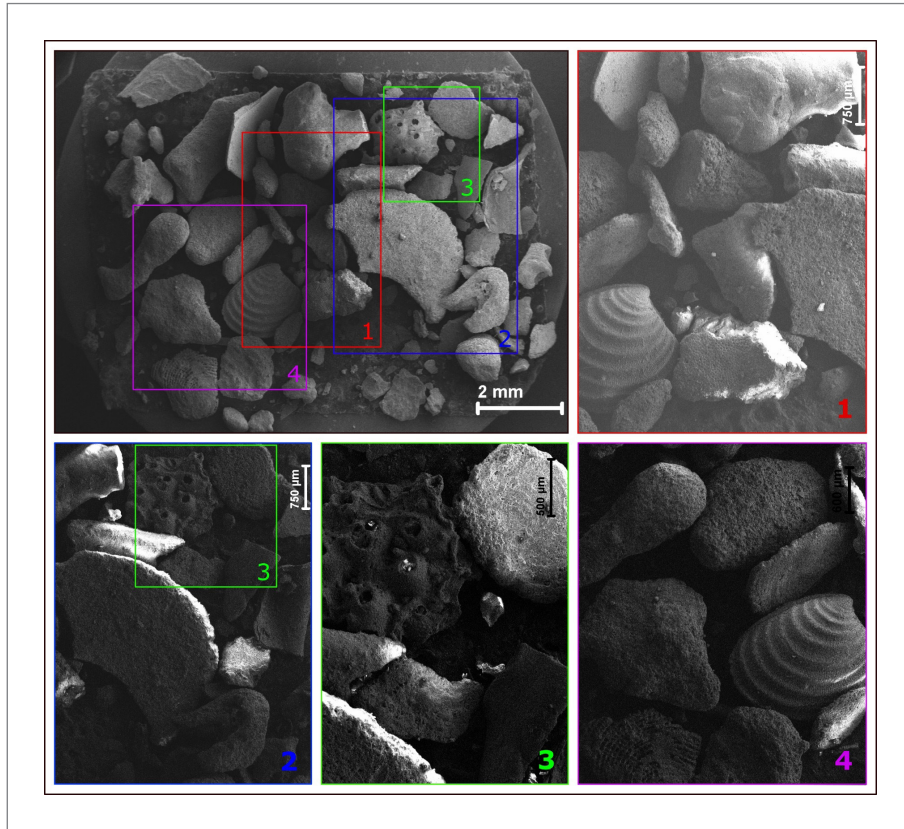


Figura 5.14 - Imagens do microscópico eletrônico de varredura em sedimentos marinhos bioclásticos da amostra CE2.368A. Fonte: Os autores.

5.3.3.2. Componentes biogênicos

Foram analisadas 328 amostras e catalogados os componentes bióticos dos sedimentos. Na Figura 5.15, encontram-se os percentuais médios encontrados de cada componente biogênico catalogado.

Os organismos bentônicos encontrados, por ordem de maior ocorrência nos sedimentos analisados, foram: foraminíferos; rodofíceas; briozoários; poríferos e coelenteratas; gastrópodes; espinhos; clorofíceas; bivalves; crustáceos; braquiópodes; e fragmentos de outros organismos marinhos.

Os foraminíferos, planctônicos e bentônicos ocorrem com maior frequência, chegando a registrar média superior a 30% nos sedimentos analisados. Em 73 amostras (22% do total), o percentual de foraminíferos supera 40% e, em 33 amostras (10% do total), 50% ou mais, com a maior ocorrência chegando a 75% na estação CE1.141, de textura sedimento cascalhoso localizada na porção sul do mapa, a aproximadamente 8 km da linha de costa e a 12 metros de profundidade.

No grupo das algas calcárias bentônicas, com exceção do *lithothamnium* e da *Halimeda* que não foram alvos desta análise, destacam-se as rodofíceas e as clorofíceas não identificadas em nível taxonômico mais detalhado, sendo a primeira mais frequente com 16% de média registrada

e 7,5% em média de clorofíceas. Briozoários, poríferos, gastrópodes, espinhos e outros organismos marinhos complementam as maiores ocorrências, na sequência, com frequências respectivas de 15%, 14,5%, 13,9%, 10% e 9,4%.

5.4. GEOQUÍMICA

Ao todo foram analisadas 484 amostras de sedimentos marinhos superficiais da área em estudo. Do total, 417 amostras foram analisadas na sua fração total do sedimento coletado, para uma avaliação geral em conjunto, e outras 67 amostras foram reanalisadas nas frações *Halimeda*, *lithothamnium*, *siliciclóstos* e *rodolitos*, extraídos da amostra total.

Neste informe, serão utilizadas as informações resultado das análises geoquímica do ponto de vista qualitativo para os principais óxidos, com ênfase nos teores de cálcio, magnésio, sílica, ferro e do percentual de perda a fogo (LOI), enfatizando a qualidade dos sedimentos encontrados e seus potenciais.

5.4.1. Comportamento do dióxido de silício (SiO₂)

O dióxido de silício é o óxido mais abundante na crosta terrestre, sendo o principal constituinte do mineral quartzo, de areias e cascalhos chamados industriais,

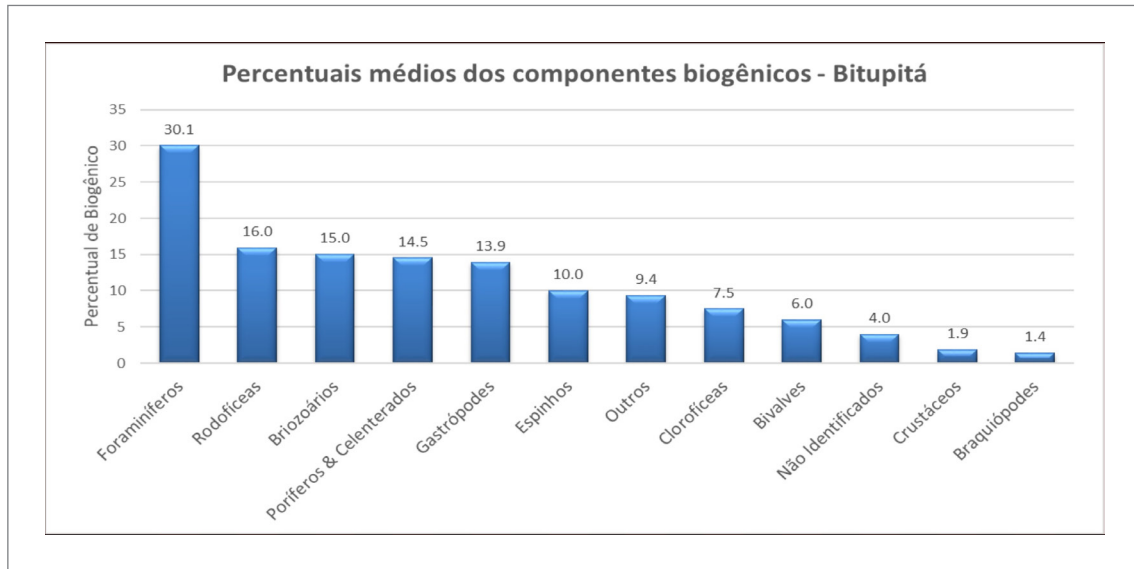


Figura 5.15 - Percentuais dos componentes biogênicos da área de pesquisa.

com altos teores de sílica, insumo de grande importância para vários segmentos industriais.

A observação dos teores de SiO_2 revela que 124 amostras da população analisada (484) apresentam valores maiores que 50% de dióxido de silício, representando 25,6% do total de amostras. No mapa, aparecem, basicamente, em dois grupos com profundidades e áreas distintas. O primeiro grupo localiza-se em baixas profundidades, até cerca de 15 metros, e o outro em profundidades superiores a 25 metros (Figura 5.16).

A distribuição espacial dos dois grupos principais descritos permite entender melhor o comportamento das contribuições siliciclásticas na área. No mapa, é possível verificar que os dois grupos são separados por profundidades intermediárias. No grupo de baixas profundidades, com teores de SiO_2 maiores que 50%, as ocorrências aparecem bem adensadas e distribuídas por toda porção sul do mapa, de leste a oeste, iniciando-se na isóbata de 8 metro e se estendem plataforma adentro até a profundidade aproximada de 14 metros. A partir desta profundidade, até cerca de 18 metros, apenas algumas amostras ricas em sílica são observadas, principalmente, no setor leste, de leito mais irregular, onde ocorrem em pequenas depressões do solo marinho. O grupo localizado nas maiores profundidades do mapa, com teores de SiO_2 maiores que 50%, apresentam-se mais dispersos, com a maioria iniciando aos 28 metros, até profundidades maiores que 40 metros, distribuídos longitudinalmente numa área menor do que o outro grupo, pois, em praticamente três dos perfis de estação mais a leste, as amostras apresentaram teores de SiO_2 inferiores a 50% (Figura 5.16).

Ao analisar as médias dos dois grupos em relação aos óxidos de silício e cálcio, o das amostras em profundidades mais rasas (média 9,6m) apresenta o maior teor médio de SiO_2 , com 70,9%, apesar de o maior teor

absoluto (88,2%) deste óxido pertencer ao grupo de amostras a norte, com aproximadamente 28,1 m de profundidade e média de 69,5% de SiO_2 .

Em relação ao óxido de cálcio (CaO), os maiores teores são encontrados no grupo de maior profundidade, com média de 14,8%, enquanto no grupo de amostras mais rasas o valor médio ficou em 11,8%.

Portanto, o comportamento na análise dos dois pequenos grupos escolhidos pelo alto teor de óxido de sílica e separados pela profundidade, apresenta elementos que sugerem controles ou características locais, com influência oceanográfica e de profundidade. É de se esperar que os siliciclastos ocorram mais próximos a linha de costa, tanto pela intensa dinâmica em áreas mais rasas, quanto pela proximidade do aporte continental transportado pelos rios. Desta forma, os sedimentos ricos em SiO_2 , localizados em profundidades maiores, podem ser relíquias de um tempo em que o nível do mar estava abaixo do atual e a linha de costa e a desembocadura dos rios estavam em posição atualmente afogada.

Nestas e em outras amostras com altos teores de sílica, foi possível perceber que o teor de cálcio comporta-se de modo inversamente proporcional: quanto maior o teor de um, menor o do outro. Em uma certa medida, há uma competição entre eles na caracterização do sedimento em siliciclástico ou carbonático.

Apesar de significativo, o teor de 50% de SiO_2 não é necessariamente uma boa indicação para aproveitamento da sílica, pois são sedimentos onde a participação de componentes carbonáticos também é alta, caracterizando-os como mistos (Figura 5.17).

As areias e cascalhos marinhos em estudo apresentam teores moderados a altos de SiO_2 , como pode ser visto na Figura 5.18, com valores máximos de 84% a 88%, em sedimentos proximais e distais, respectivamente entre

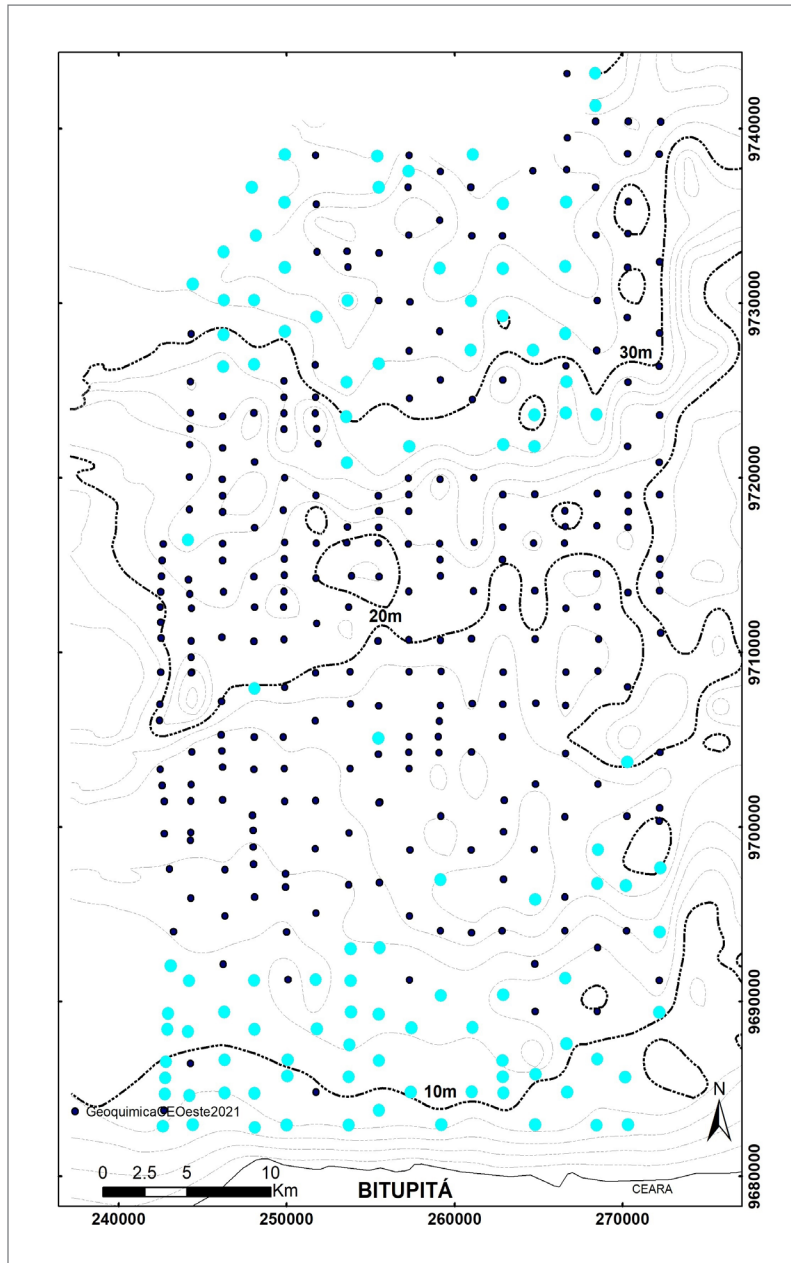


Figura 5.16 - Em azul, a ocorrência de sedimentos com teor de SiO₂ maiores que 50%. Fonte: Os autores.

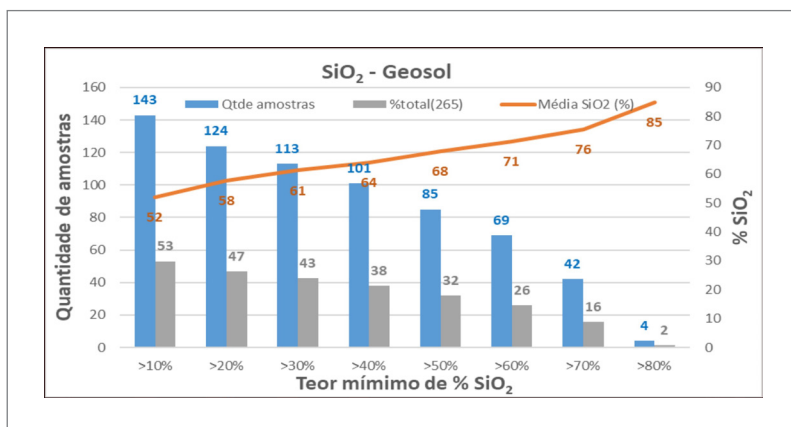


Figura 5.17 - Percentuais do óxido de sílica na análise de grupos de teores mínimos nos sedimentos analisados pela SGS Geosol. Fonte: Os autores.

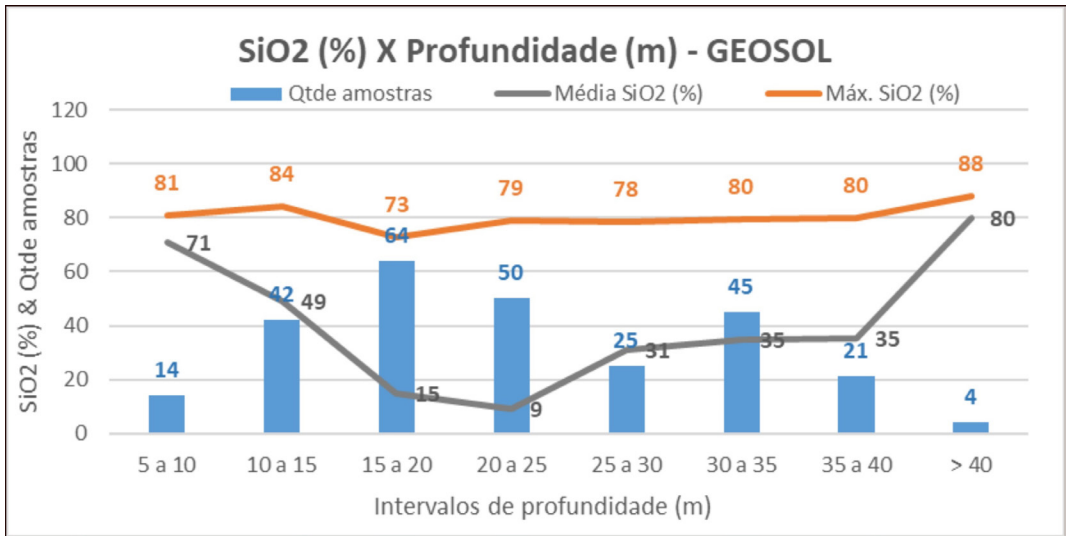


Figura 5.18 - Gráfico ilustrando o comportamento do dióxido de sílica (SiO₂) em relação à profundidade. Fonte: Os autores.

10 e 15 metros e acima de 40 metros. Tal comportamento pode estar associado, nas profundidades menores, pelas contribuições de aporte continentais acrescidos da movimentação mais intensa de sedimentos ocasionado pela hidrodinâmica das áreas com a influência de ondas, correntes e ventos, que intensificam a dinâmica de transporte litorâneo local. Por outro lado, há também outras condições em maiores profundidades, como a diminuição ou a ausência de transporte sedimentar por influência de ondas e correntes no fundo, a diminuição da chegada de detritos continentais, pela distância e falta de agentes de transporte, e, por fim, a alta taxa de produtividade e crescimento dos sedimentos carbonáticos de origem orgânica e a proximidade de uma antiga linha de costa de um nível médio do mar mais baixo que o atual.

5.4.2. Comportamento óxido de cálcio (CaO)

O cálcio é o quinto elemento da tabela periódica que mais aparece na crosta terrestre (KISU, 2021), além de ser o terceiro metal mais abundante, depois do ferro e alumínio. Suas propriedades químicas são muito semelhantes às dos elementos mais pesados do mesmo grupo da tabela periódica, estrôncio e bário.

Em relação ao comportamento do óxido de cálcio (CaO) nas 484 amostras analisadas (Figura 5.19) mais de 55% (270) apresentam teor de CaO maior que 40%, com teor médio de 45,8%, representando valor significativo se considerarmos que há disponível no mercado produtos à base de granulados marinhos com teores de 32% de CaO, registrado no Ministério da Agricultura.

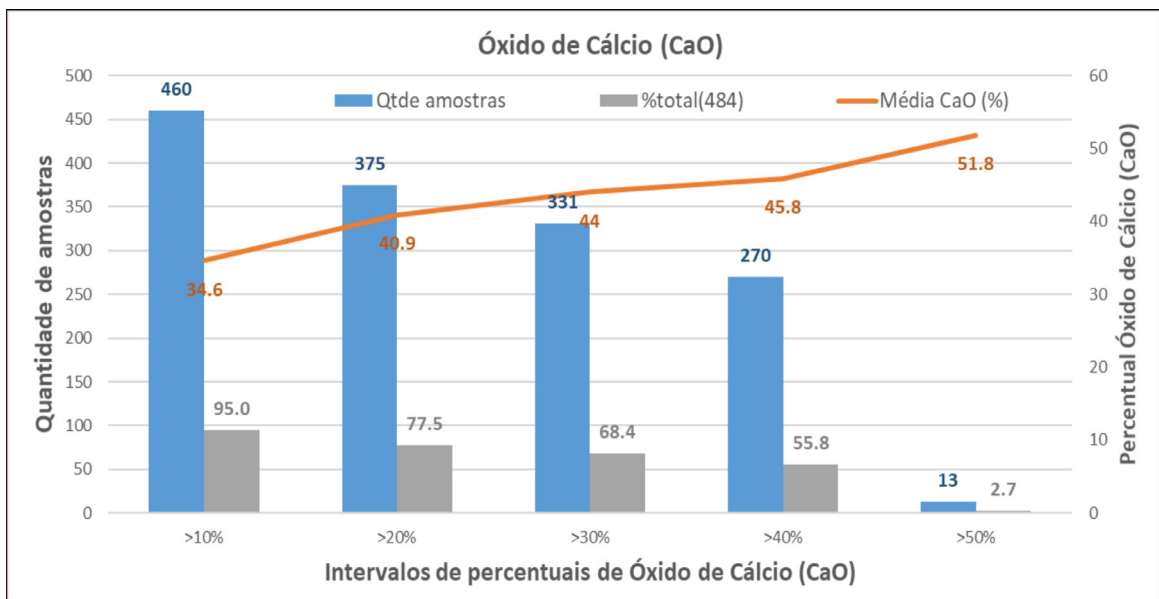


Figura 5.19 - Comportamento do óxido de cálcio nas 484 amostras analisadas. Fonte: Os autores.

Para 331 amostras (68% do total) foram encontrados teores acima de 30% de CaO. Em 375 amostras (77,5%), o teor de CaO foi maior que 20% e, em 95% das amostras (460), foram encontrados valores acima de 10%.

Uma breve análise do comportamento do óxido de cálcio (CaO) em relação à profundidade, ilustrado no gráfico (Figura 5.20) e no mapa (Figura 5.21), mostra o aumento da concentração de cálcio da costa até

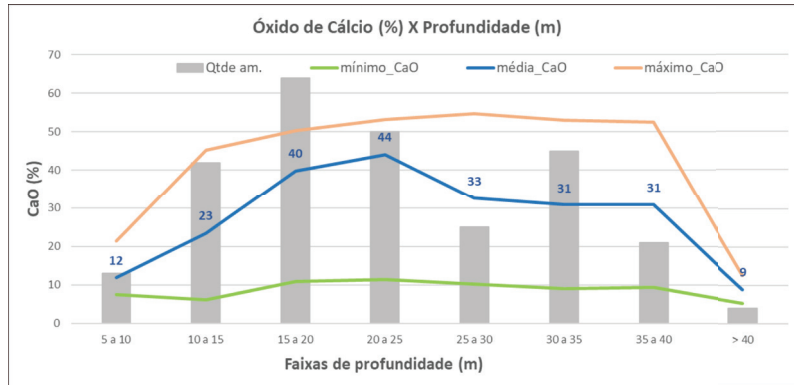


Figura 5.20 - Valores de óxido de cálcio em relação a profundidade em Bitupitá. Fonte: Os autores.

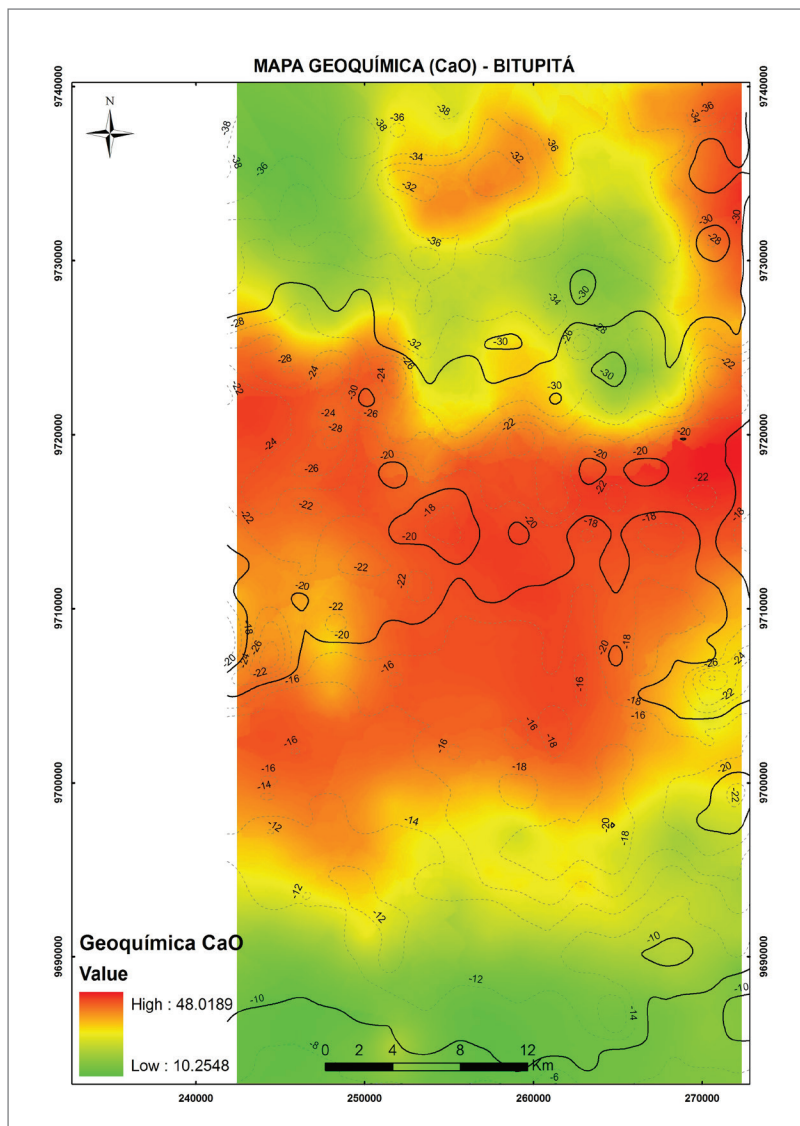


Figura 5.21 - Mapa de distribuição do óxido de cálcio como resultado da geoquímica. Fonte: Os autores.

profundidades intermediárias e posterior declínio quando atinge profundidades maiores. Com valores médios de CaO de 12% abaixo dos 10 metros, passando a subir com a profundidade, chegando a teores altos a partir dos 20 metros com 40% de CaO, mantendo-se ainda mais alto até os 25 metros com o valor médio máximo de 44%, quando começa novamente a cair para próximo de 30%, entre 25 a 40 metros, até descer para 9% acima dos 40 metros.

Portanto, vale ressaltar que sedimentos bioclásticos marinhos com teores acima dos 32% de CaO podem ser considerados de muito boa qualidade e com grande potencial de aproveitamento, haja vista o exemplo do produto (Figura 6.1) registrado no Ministério da Agricultura como fertilizante mineral simples e garantindo 32% de cálcio.

Considerando apenas os valores médios de CaO, verifica-se que no intervalo de profundidade entre 15 a 25 metros ocorrem teores acima de 40%, representando elevado teor e indicando, portanto, as profundidades e consequentemente as áreas com maior interesse econômico do ponto de vista do acúmulo e concentração dos sedimentos marinhos bioclásticos.

No que se refere a distribuição espacial do óxido de cálcio (Figura 5.21), as maiores concentrações localizam-se na porção central do mapa entre as profundidades de 15 a 30 metros de profundidade.

5.4.3. Razão MgO/CaO

Ao analisar a composição de sedimentos marinhos da plataforma nordestina, Marques (2004) sugere que o padrão de substituição do Ca por Mg seja mais efetivo em águas rasas e mais aeradas, ou que haja um

fracionamento na biota. Nesse caso, com predomínio de exoesqueletos de calcitas magnesianas de espécies bentônicas em águas mais rasas.

Nas amostras analisadas pela geoquímica, a razão CaO/MgO ficou com valores médios em 10:1, ou seja, os valores do óxido de cálcio são normalmente 10 vezes maiores que o óxido de magnésio

A razão entre os óxidos de magnésio e cálcio, nos intervalos de profundidades de 0-15 metros, 15-30 metros e acima de 30 metros, apresenta uma variação ligeiramente decrescente para os valores médios da razão, ficando em 11% para profundidades entre 0 a 15 metros, 10,5% entre 15 e 30 metros e 8% para profundidades acima de 30 metros (Figura 5.22). O resultado sugere que o magnésio está presente em maior quantidade nos sedimentos de regiões mais rasas até 30 metros de profundidade.

Na análise da relação óxido de cálcio e perda ao fogo, chega-se ao valor de 1:1, na média. Isto pode significar que grande parte da matéria perdida pela queima esteja presente no sedimento de origem orgânica, conforme o esperado, e, neste caso, com forte indício de estar relacionado à presença de algas vermelhas e verdes (*lithothamnium* e *Halimeda*, respectivamente).

A distribuição dos valores médios de perda ao fogo (LOI) em análise com a profundidade (Figura 5.23), dividida em grupos com intervalos de 5 metros, concentra os maiores valores médios no intervalo batimétrico entre 15 e 30 metros de profundidade, com valores superiores a 40% de perda ao fogo. Devido à característica morfológica da área, tais valores ocorrem, preferencialmente, na porção central do mapa, com extensão latitudinal maior na porção oeste, diminuindo em direção a leste e voltando a ocorrer no limite norte superior da área (Figura 5.24).

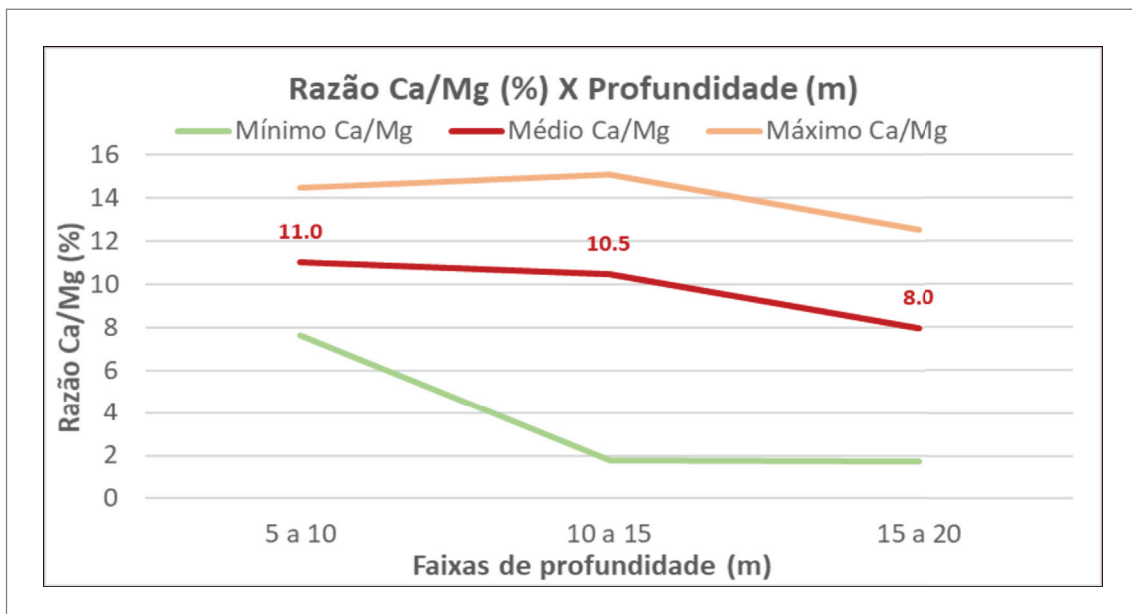


Figura 5.22 - Valores da relação de Ca/Mg em relação à profundidade. Fonte: Os autores.

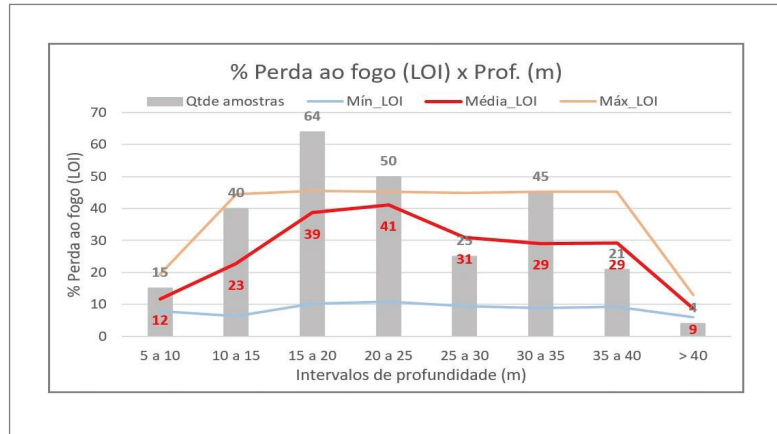


Figura 5.23 - Valores de perda ao fogo nas amostras analisadas distribuídas em grupos com intervalo de 5 metros. Fonte: Os autores.

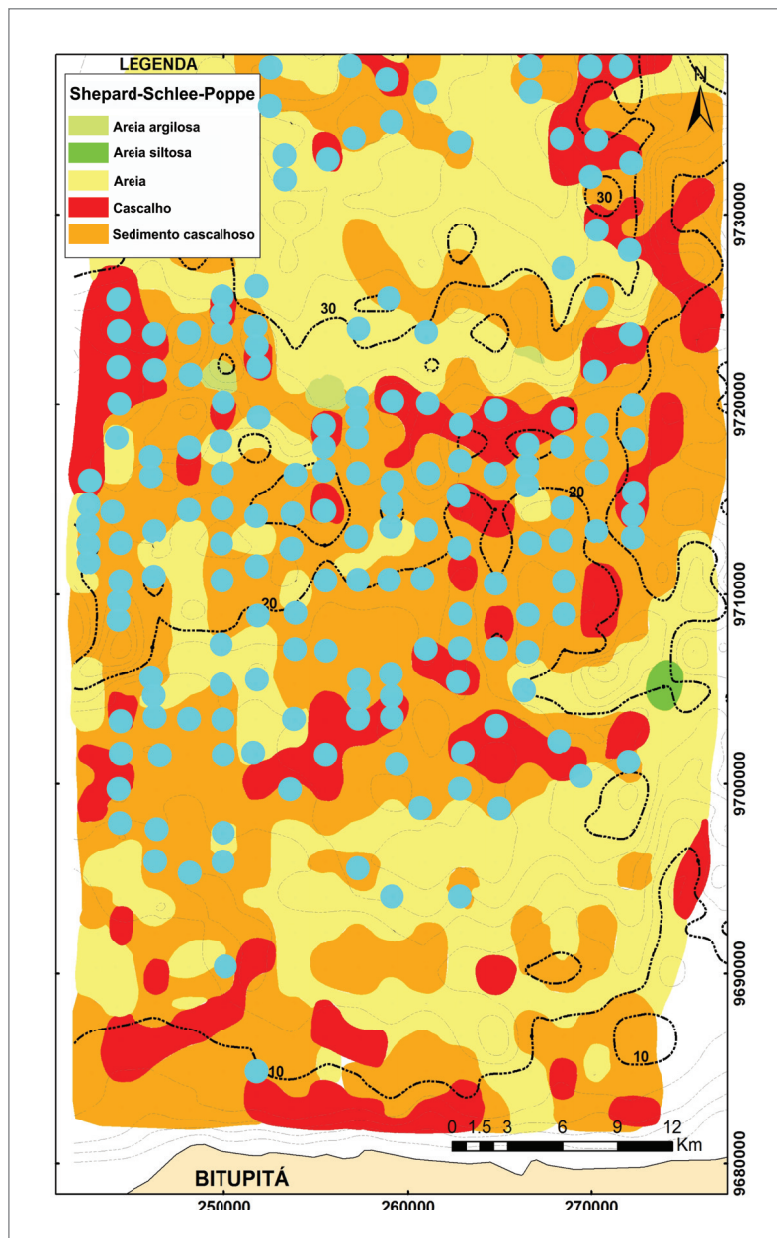


Figura 5.24 - Mapas com valores de perda ao fogo (LOI) acima de 40%, à esquerda, e sua superposição com o mapa faciológico-textural. Fonte: Os autores.

Os maiores valores médios ocorrem no intervalo 20 a 25 metros de profundidade.

Ao analisar os valores de perda ao fogo, como resultado da liberação de CO_2 e água através do aquecimento a $1.000\text{ }^\circ\text{C}$ nas amostras de sedimentos marinhos com a análise geoquímica, é possível encontrar relação com profundidade e com os sedimentos de fundo.

É provável que os valores de perda ao fogo tenham variado em profundidade com influência dos tipos ou das características dos sedimentos presentes no fundo. A região no mapa com valores acima de 40% de LOI ocorre, na sua maioria, sobre os sedimentos cascalhosos e cascalhos da região central do mapa.

Os cascalhos e sedimentos cascalhosos são aqueles com maior teor de CaCO_3 e presença de fragmentos biogênicos distantes das fontes atuais de sedimentos siliciclásticos terrígenos, corroborado pelos maiores teores observados de perda ao fogo (LOI).

5.5. INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Terminada a etapa de tratamento e processamento dos dados adquiridos, quando foram geradas as principais informações de interesse para o estudo, algumas delas foram confrontadas entre si, em busca de conhecer suas interrelações e, por outro lado, servir de ferramentas para a interpretação da distribuição das feições de fundo.

Por exemplo, a batimetria é uma informação de base que, utilizada em conjunto com outras, possibilita entender a distribuição dos sedimentos, certas concentrações e demais relações que a profundidade possa controlar. Neste contexto, para a definição das distribuições sedimentares, a batimetria foi uma informação importante e que auxiliou na interpretação do mapa textural. A análise dos conjuntos de classes faciológicas e texturais foram surgindo com o auxílio dos vetores de fluxo orientados pela superfície batimétrica modelada, permitindo, em alguns casos, a escolha embasada em fluxos gravitacionais que ocorrem na variação das profundidades locais. Desta forma, foram construídas as áreas de representação das texturas cascalho, sedimento cascalhoso, areia, areia argilosa e areia siltosa (Figura 5.25).

Na produção do mapa textural (Figura 5.27), os polígonos foram construídos com base na influência de cada amostra, como pode ser visto na Figura 5.25-A, e a definição de ocorrência e seus contatos, de acordo com a interpretação geológica da área, considerando-se o clima de ventos e ondas e a ação de correntes locais, bem como a batimetria, através dos vetores de fluxo e de suas linhas de contorno.

A distribuição sedimentar limitou-se, portanto, à área de influência dos dados coletados. O mapeamento cobriu uma área de 1.970 km^2 , equivalente a aproximadamente 200 mil campos de futebol, e em profundidades variando

entre 3,5 e 40 metros (Figura 5.26). Nessa área estão distribuídas cinco classes texturais pela classificação de Shepard-Schlee-Poppe, sendo cascalho, sedimentos cascalhosos, areia, areia argilosa e areia siltosa.

Dentre as texturas encontradas, destacam-se os sedimentos cascalhosos, as areias e os cascalhos, com respectivamente 45%, 38,2% e 16,2% de área, juntos cobrindo 99,4% da área mapeada. Os sedimentos cascalhosos ocorrem desde as profundidades menores (3,5 metros) até as maiores (40 metros), em $886,2\text{ km}^2$, distribuídos por toda a área com ocorrência mais concentrada na parte central e oeste do mapa. Por sua vez, a textura areia ocorre bem concentrada nas porções SE e NW, e a textura cascalho ocorre em pequenas manchas espalhadas por toda a região mapeada.

Classificação de Nickless

O esquema de classificação proposto pelo geólogo britânico Nickless, em 1973, teve o objetivo de apoiar a prospecção de depósitos exploráveis de areias e cascalhos, tendo sido utilizado durante muito tempo pelo Instituto de Ciências Geológicas da Grã-Bretanha.

A classificação considera os teores de finos como o principal fator limitante para conferir o caráter exploratório do sedimento. No diagrama ternário da Figura 5.28 estão plotados os sedimentos estudados, onde a maioria dos dados distribuem-se pelas 12 classes exploráveis, o que reforça o baixo teor de finos nos sedimentos.

Em sua maioria, os sedimentos plotados no diagrama encontram-se, principalmente, nas classes VII, IV, I, X, XI e VIII, que representam respectivamente: areia cascalhosa (VII); cascalho arenoso (IV); cascalho (I); areia (X); areia lamosa (XI); e areia cascalhosa (VIII).

Estimativa de Volume

Dentre as informações de maior relevância para a caracterização de uma jazida figura, com grande importância, a quantificação volumétrica do material encontrado. Dados diretos e indiretos são imprescindíveis para um cálculo adequado, porém estimativas podem ser realizadas na ausência de informações diretas, tais como as obtidas por testemunhos de sondagem e métodos sísmicos.

Montalvern & Coutinho (1982), considerando uma área entre as isóbatas de 20 a 30 m da plataforma continental de Pernambuco, admitindo uma espessura média de apenas 1,5 m de sedimentos, calcularam uma reserva inferida de $1.926 \times 10^6\text{ t}$, o que permite uma lavra ininterrupta de um milhão de t/ano durante quase dois milênios. Por sua vez, Correa (1983) estimou as reservas ocorrentes na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul em cerca de $926.400.000\text{ m}^3$ de material bioclástico.

Foi realizada uma avaliação dos volumes envolvidos na área de estudo com base na superfície de fundo revelada pela batimetria, para quantificar os volumes potencialmente

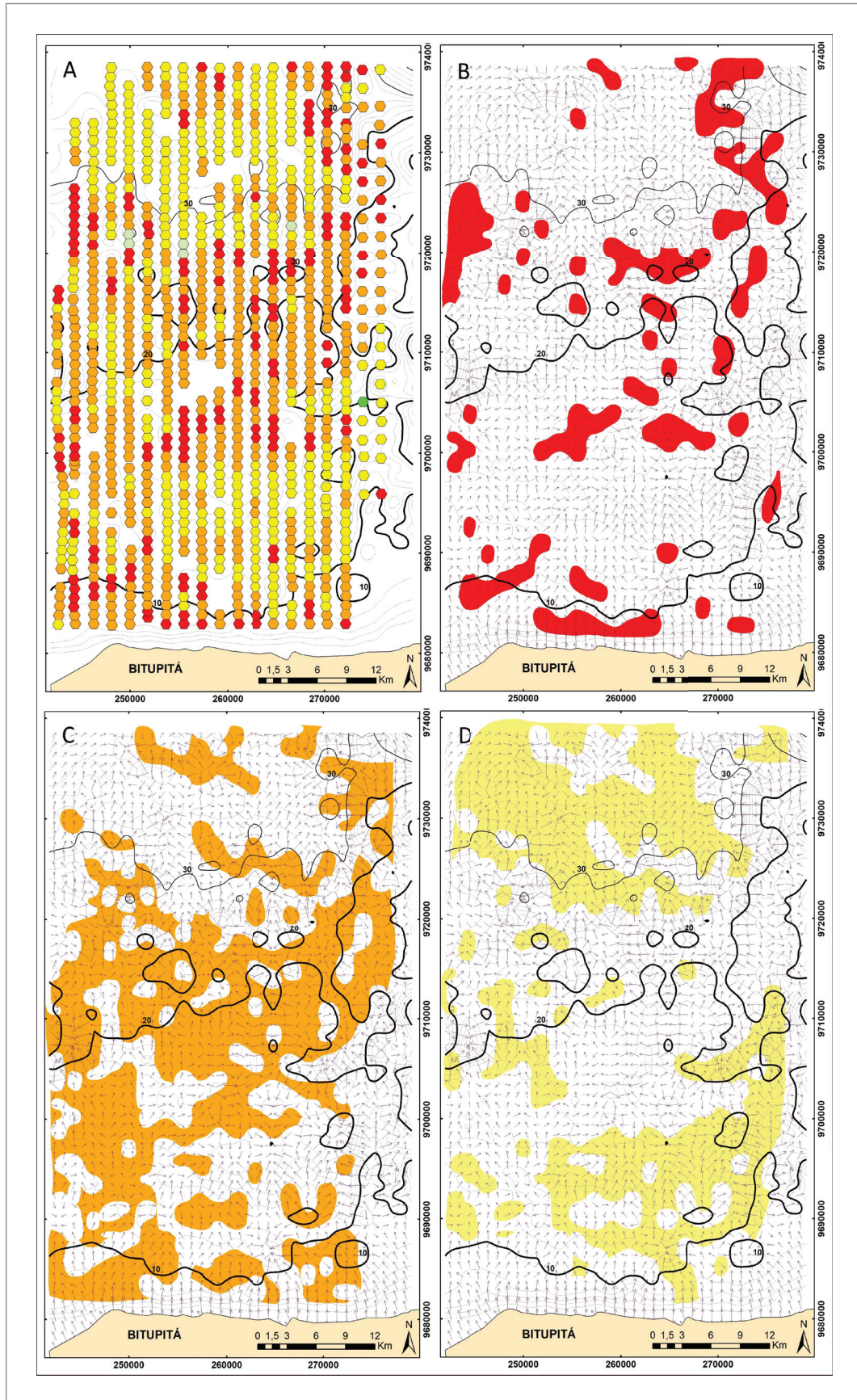


Figura 5.25 - Mapas com a integração da batimetria na interpretação das texturas sedimentares da área de estudo. No primeiro mapa, (A) distribuição das amostras com texturas e no tamanho da influência espacial e representatividade de cada ponto, (B) polígonos com as áreas da textura cascalho, (C) sedimentos cascalhosos e (D) areia, construídos com o auxílio dos vetores de fluxo como subproduto da batimetria. Fonte: Os autores.

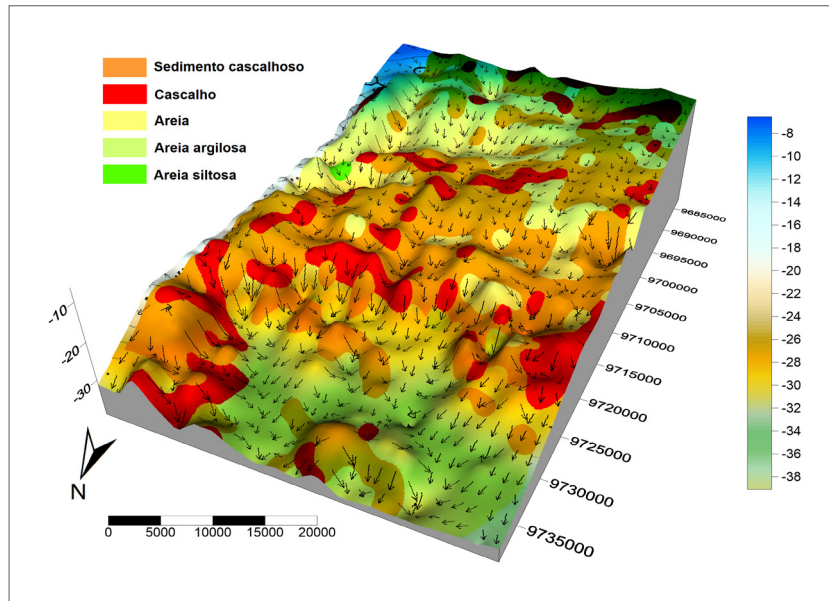


Figura 5.26 - Mapas batimétrico com vetores e as texturas da área em estudo, Setor Bitupitá. Fonte: Os autores.

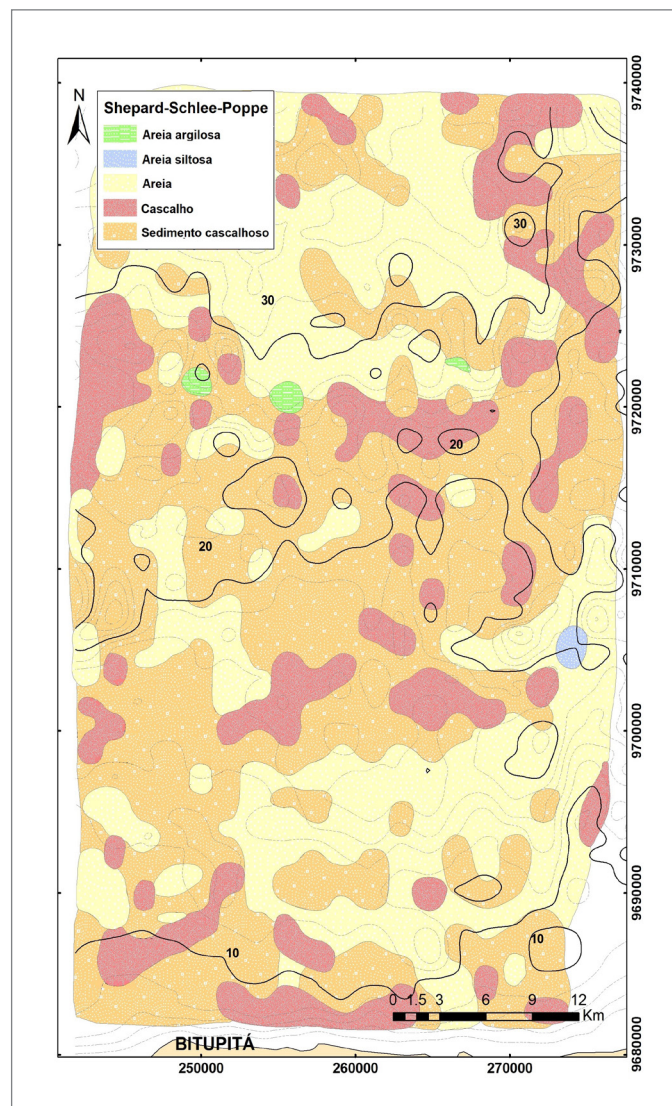


Figura 5.27 - Mapa textural ou carta faciológica de Bitupitá. Fonte: Os autores.

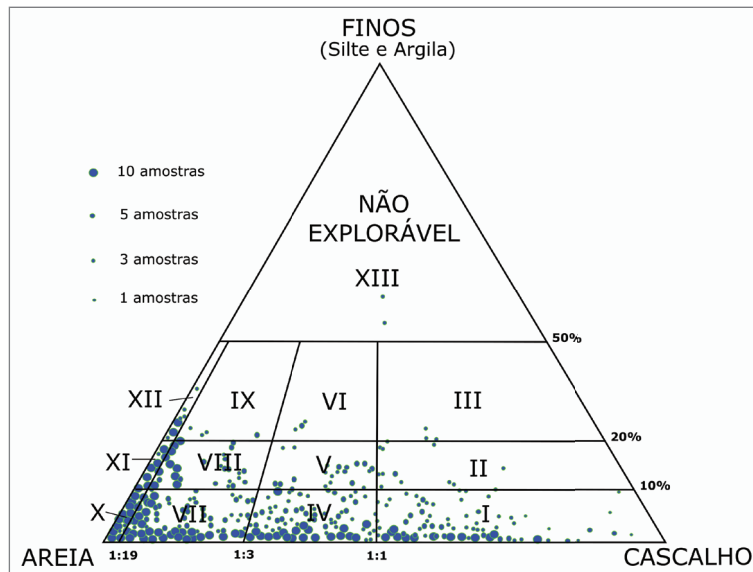


Figura 5.28 - Diagrama de Nickless (1973) com dados plotados dos sedimentos marinhos do Setor Bitupitá. Fonte: Os autores.

obtidos na exploração de uma camada de apenas 1 metro de espessura sedimentar. Utilizando a morfologia de fundo, foram estimados volumes para a área total e para outras três áreas de menor tamanho, localizadas dentro de uma área de maior interesse dos sedimentos, em profundidades e distâncias da praia crescentes (Figura 5.29), que possuem geometria retangular e dimensão de um pouco menos de 10 km por crescentes 5 km.

Foram escolhidas arbitrariamente três áreas em diferentes profundidades, entre 15 e 28 metros, mas com a mesma área (955 km²), sendo: A1, a mais rasa, entre 15 e 18 metros de profundidade, a 17 km da praia; A2, intermediária, aos 20 metros de profundidade e a 27 km da costa; e A3, a mais profunda, aos 25 metros e distante 35 km da linha de praia.

Do mapa principal, foram extraídas as superfícies batimétricas das três áreas que representam as suas morfologias de fundo. Com o auxílio do *software* Surfer 19, os dados foram reprocessados para o cálculo de volume estimado e a geração de representações em 2D e 3D das áreas escolhidas.

Na área A1 após a regridagem da sua superfície (Figura 5.30), considerando uma camada superficial de 1 metro de espessura, teve o volume estimado em 47 milhões de m³, o equivalente a quase seis vezes o volume de areia utilizado no aterro do Flamengo, no Rio de Janeiro. A área A1 engloba três classes sedimentares com maior área de sedimentos cascalhosos, seguida cascalho e areia em menor área.

A área A2 possui 45,8 milhões de m³ estimado para a espessura de 1 metro de material sedimentar superficial. Na área A2, a faciologia é majoritariamente grossa com quase toda a superfície por sedimento cascalho e cascalho (Figura 5.31).

Na área A3, foram estimados cerca de 48,5 milhões de m³ em 1 metro de espessura da superfície e as texturas presentes são, principalmente, sedimento cascalhoso e cascalho, com uma pequena ocorrência de areia (Figura 5.32).

Todas as três áreas encontram-se numa região com sedimentos cascalhosos a cascalhos com altos teores de óxido (CaO) e carbonato de cálcio, com a presença de algas *lithothamnium*, *Halimeda* e rodolitos.

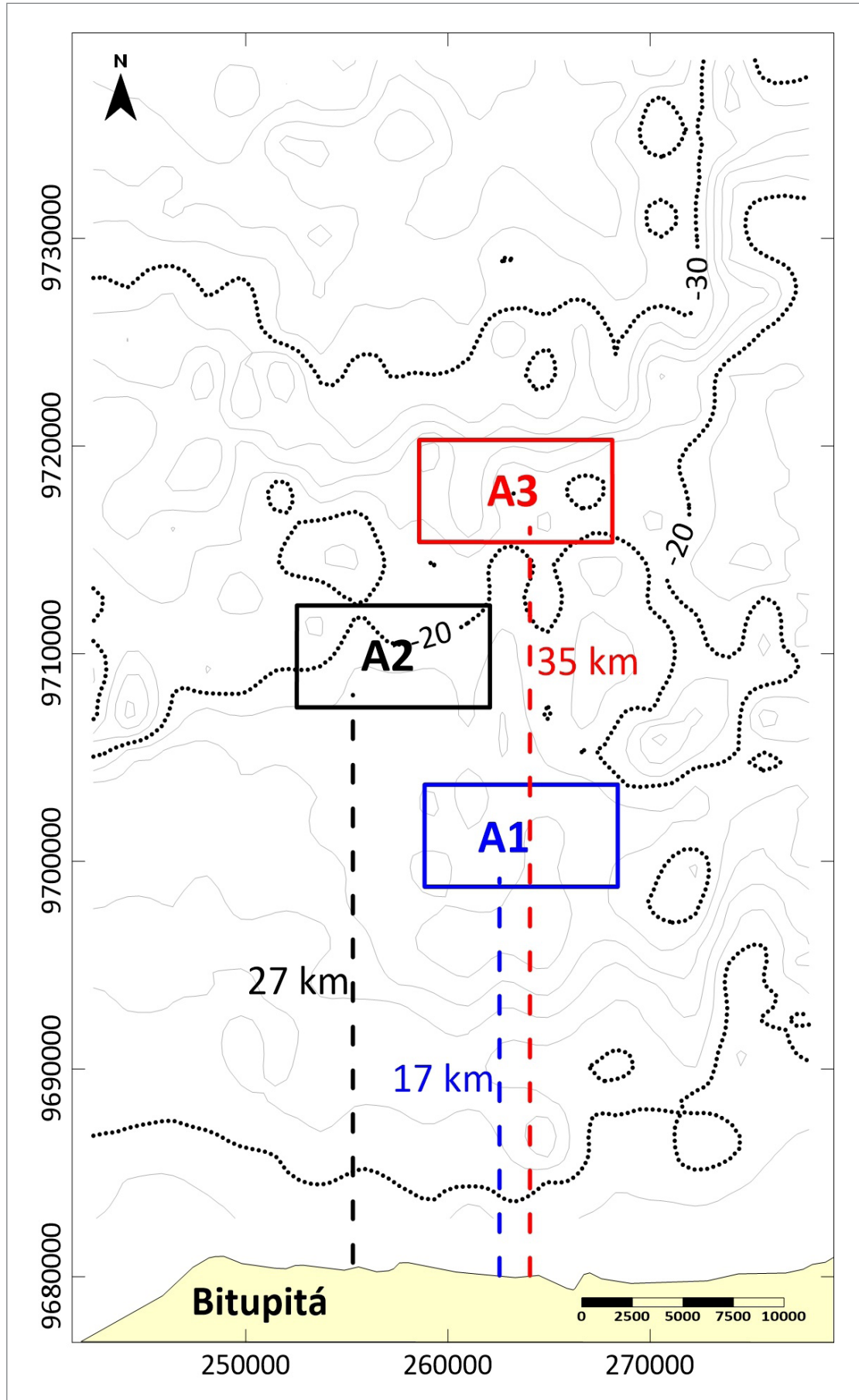


Figura 5.29 - Áreas escolhidas para o cálculo da estimativa de volume em Bitupitá. Fonte: Os autores.

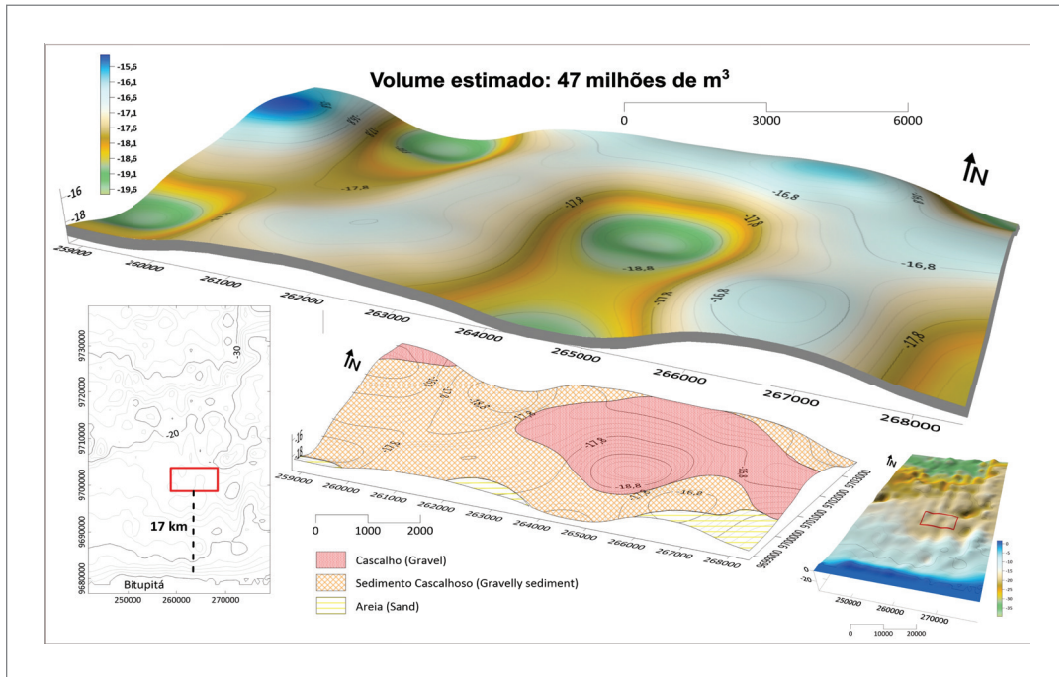


Figura 5.30 - Área A1 e sua estimativa de volume (47 milhões de m³) com a faciologia associada em representações 3D. Fonte: Os autores.

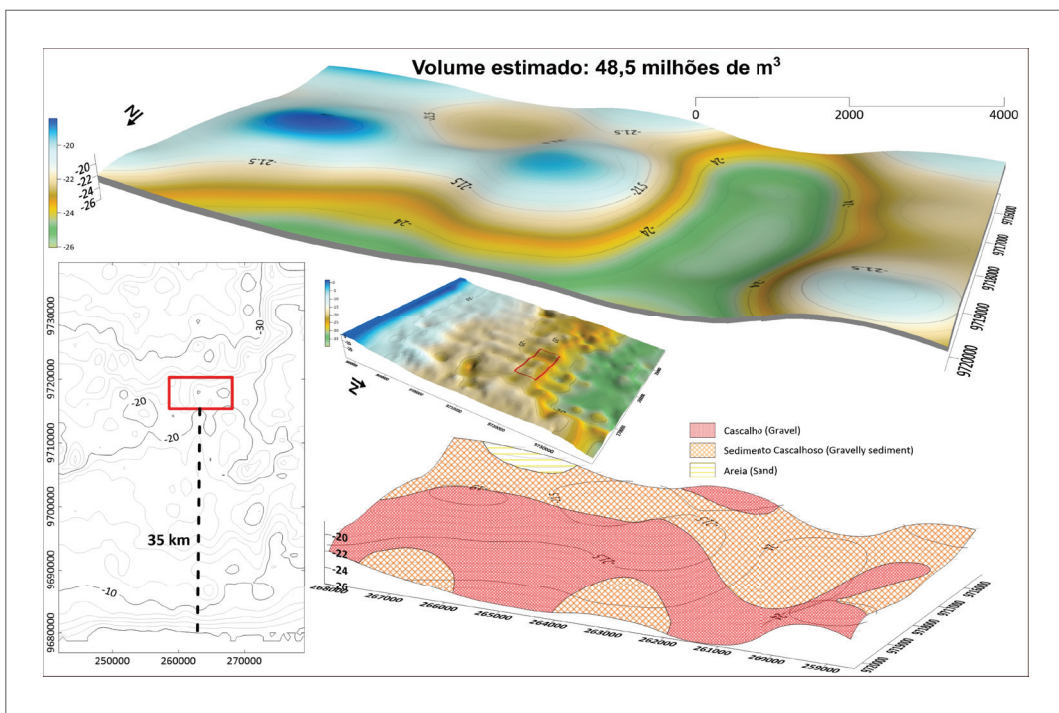


Figura 5.31 - Área A2 e sua estimativa de volume (45,8 milhões de m³), com a faciologia associada em representações 3D. Fonte: Os autores.

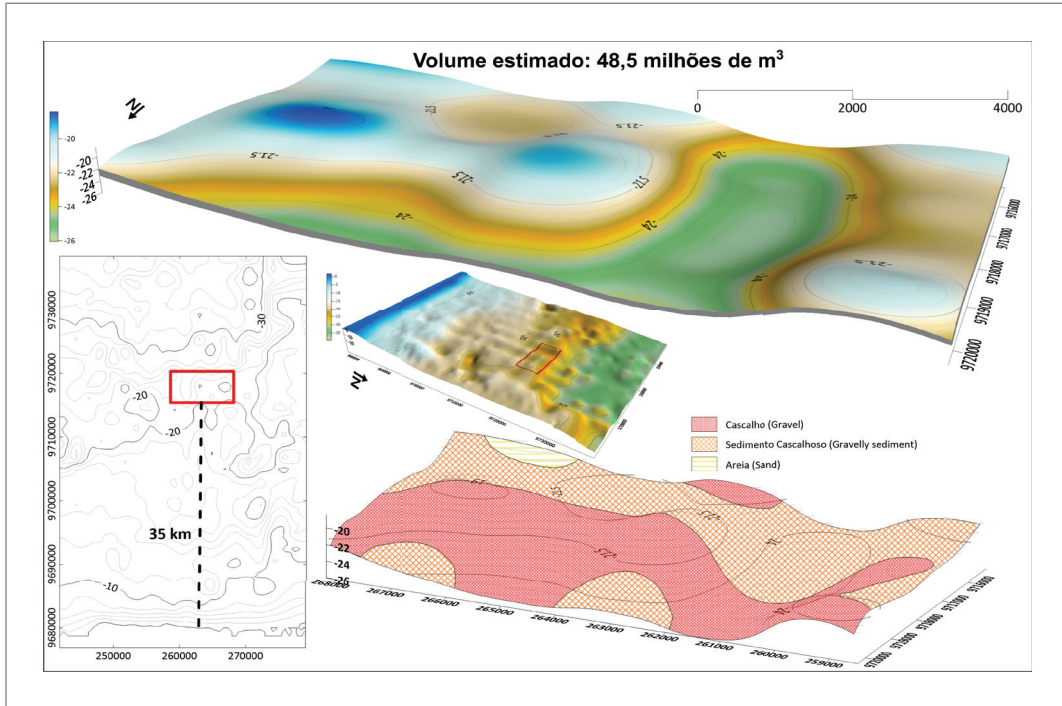


Figura 5.32 - Área A3 e sua estimativa de volume (48,5 milhões de m³), com a faciologia associada em representações 3D. Fonte: Os autores.

6. AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DOS RECURSOS MINERAIS MARINHOS

Diante de um panorama global de valorização do espaço marinho como um território de muitos ambientes e recursos naturais importantes e ainda pouco conhecido, passam a ser cada vez mais necessárias ações voltadas ao seu conhecimento, regulação e disciplinamento. Cabe, portanto, aos governos federal, estadual e municipal a busca pelo conhecimento, zoneamento e o estabelecimento de regras de convívio e de aproveitamento dos recursos encontrados em seus territórios, sob pena de obter perdas econômicas e ambientais.

É necessário conhecer melhor os ambientes e inventariar os recursos naturais vivos e não vivos presentes no mar e na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira, bem como estabelecer uma linha de base ambiental que permita identificar e gerenciar áreas a serem protegidas e definir outros usos, tais como as atividades pesqueiras, recreação, aproveitamento do potencial de energias limpas de fonte eólicas ou oceânicas e o aproveitamento de recursos minerais de relevante importância para a sociedade.

Souza *et al.* (2009) comentam sobre o desenvolvimento da tecnologia marinha brasileira na área do petróleo e gás. Segundo os autores, no que diz respeito à exploração de

recursos minerais não petrolíferos, o desenvolvimento foi quase nulo. Afirmam, contudo, que existe no Brasil um grande potencial para adaptar e inovar a tecnologia existente para recursos minerais não petrolíferos na plataforma continental brasileira e em áreas oceânicas adjacentes.

Desde o período colonial, a riqueza mineral do Brasil vem sendo explorada, gerando desenvolvimento social, econômico e cultural nas diversas regiões do país, mas nem sempre de forma ambientalmente correta (IBAMA, 2019).

No que se refere ainda ao potencial dos granulados bioclásticos, da área pesquisada para uso como fertilizante, pode-se dizer que são de muito boa qualidade e apresentam teores superiores aos de outros depósitos, onde a matéria-prima está registrada no Ministério da Agricultura. Segundo o registro do produto, concedido em 2005, as características da “Alga Marinha *Lithothamnium*” apresentam percentuais de cálcio, magnésio e cloro total, respectivamente, de 32%, 2% e 2% (Figura 6.1).

Os resultados dos teores dos componentes principais, cálcio e magnésio, dos granulados bioclásticos apresenta para os sedimentos analisados, incluindo os bioclásticos, siliciclásticos e mistos (321 amostras), valores de 31,6% de

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO		
SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUARIA		
SUPERINTENDENCIA FEDERAL DE AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO		
REGISTRO DE PRODUTO - Continuacao		
Certifico que esta devidamente registrado neste Ministerio		
sob o Nro.: RJ-06180 10000-8		
O Produto: FERTILIZANTE MINERAL SIMPLES		
MATERIAS PRIMAS/COMPONENTES		
ALGA MARINHA LITHOTHAMNIUM		
DISCRIMINACAO	GARANTIA	UNID. MED.
CALCIO	32	%
MAGNESIO	2	%
COLOR TEOR TOTAL	0.2	%
NATUREZA FISICA		
SOLIDO		
Origem do Produto: NACIONAL		

Figura 6.1 - Registro do produto fertilizante mineral simples a base de “Algas Marinhas *Lithothamnium*”, no Ministério da Agricultura em 2005. Fonte: Algaea Mineração.

cálcio e 3,38 de magnésio. Se os sedimentos siliciclásticos forem retirados e incluídos os mistos e os próprios bioclásticos (286 amostras), os teores de cálcio e magnésio atingem, respectivamente, 33,9% e 3,63%. Se apenas os sedimentos bioclásticos forem separados (220 amostras) os teores atingem 37,9% de cálcio e 4,1% de magnésio.

6.1. SUBSTÂNCIAS DE INTERESSE NA ZEE BRASILEIRA

Atualmente, há 767 processos minerários ativos, incluindo áreas em disponibilidade, presentes na ZEE brasileira, de acordo com os metadados disponíveis no site da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE, 2021). Destes, 152 processos estão em curso, em diversos níveis, com vistas ao aproveitamento econômico das substâncias: algas calcárias, calcário coralíneo, calcário conchífero, conchas calcárias e calcário, nos estados da Bahia (25), Ceará (1), Espírito Santo (56), Maranhão (20), Paraíba (2), Pernambuco (18), Piauí (9), Rio Grande do Norte (18), e Santa Catarina (3). Todas as substâncias referem-se aos granulados marinhos bioclásticos, localizados, em sua maioria em áreas submersas e, em menor número, em áreas emersas, representando cerca de 1.380 km². Os usos das substâncias pretendidas são diversos, desde a utilização na construção civil, fabricação de cal e cimento, corretivo de solos, fertilizantes e o aproveitamento industrial, até balneoterapia, energético, entre outros.

Dentre os 17 estados brasileiros costeiros, 15 possuem processos em análise na ANM, sejam na zona costeira ou na plataforma continental. Desses, o Espírito Santo é o estado com mais áreas (267), seguido por Bahia (128), Maranhão (79), Pernambuco (77), Rio Grande do Sul (45), Rio de Janeiro (43), Santa Catarina (42), Rio

Grande do Norte (38), Paraíba (11), Ceará (10), Piauí (9), Alagoas (3), Sergipe (2) e São Paulo (1).

Entre as principais substâncias de interesse requeridas na ZEE, destacam-se o fosfato com 284 áreas, seguido pelos sedimentos do grupo granulados marinhos bioclásticos com 152 áreas, representados pelas substâncias algas calcárias (5), calcário coralíneo (29), calcário conchífero (1), conchas calcárias (36) e calcário (81). Outras substâncias também apresentam números expressivos de áreas requeridas, como areia (118), sais de potássio (54), ilmenita (51) e salgema (30).

O fosfato requerido na ZEE localiza-se por quase toda sua extensão territorial, nas plataformas continentais e em montes submarinos dos estados do Pará, Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Santa Catarina. Além das áreas no mar, há requerimentos na zona costeira nos estados do Maranhão, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

Do total de 767 áreas na ZEE, 185 foram requeridas na zona costeira (Figura 6.2), considerando estarem localizadas ou na área submersa ou em contato com a linha de costa. Dessas áreas, 43 localizam-se no Espírito Santo, 34 no Rio Grande do Sul, 26 na Bahia, 23 em Santa Catarina, 16 no Rio Grande do Norte, 10 em Pernambuco e 10 na Paraíba, entre outros estados. Dentre as substâncias, a areia (43) tem o maior número de áreas requeridas, com uso para construção civil e industrial, distribuídas em oito estados diferentes (BA, CE, ES, PB, PE, RJ, RS e CS), com mais de 3.000 km².

Os processos minerários ativos em fase de concessão de lavra ou com direito de requerer lavra, ou seja, com relatórios de pesquisas aprovados, comprovando jazida, representam apenas pouco mais de 5% do total de processos ativos (Figura 6.3). Porém, o panorama apresenta

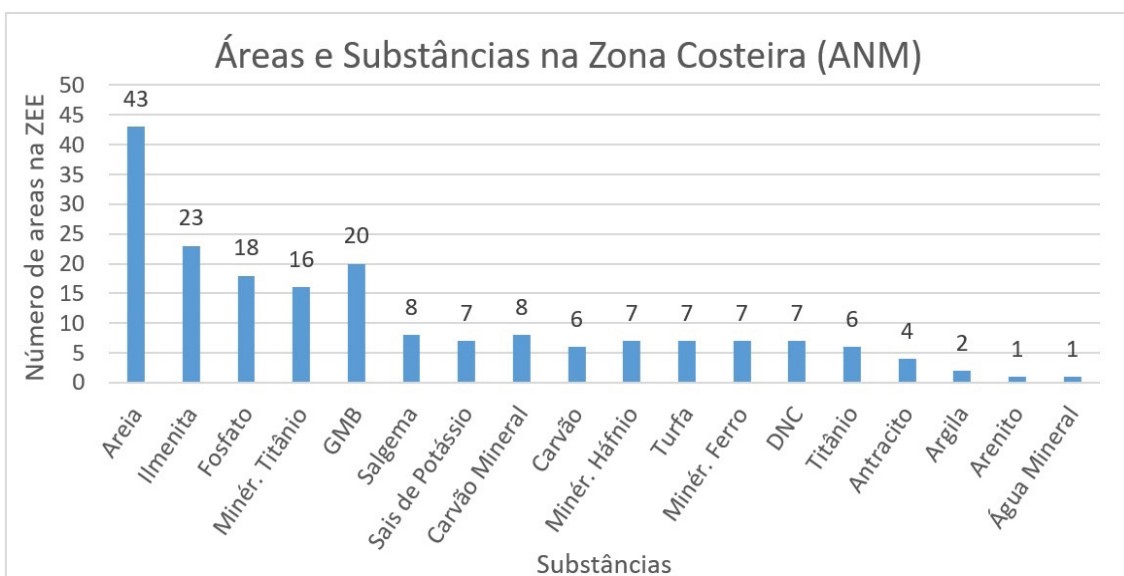


Figura 6.2 - Áreas e substâncias requeridas junto a ANM na zona costeira brasileira. Fonte: Os autores.

grande quantidade de autorizações de pesquisa (434), assim como requerimentos de pesquisa (219).

No Ceará e nos estados vizinhos, as iniciativas de empreendimentos de mineração no ambiente marinho ainda são pequenas, apesar de já haver algumas áreas em pesquisa e outras em lavra. Dentre as áreas requeridas junto à ANM no território marinho cearense, estão cinco áreas requeridas em 2013 no Guyot do Ceará, a cerca de 160 km de Fortaleza, em profundidades no entorno de 300 metros, que não evoluiu; e outro conjunto de três áreas para uso industrial, duas requeridas para ilmenita, em 2012, e outra para areia, em 2014.

Apesar de os recursos minerais serem de domínio da União, a sua comercialização motiva a arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) para a região e outros agentes públicos, assim como gera emprego e desenvolvimento local.

As fiscalizações para o pagamento da CFEM foram intensificadas pela ANM e, com isso, as arrecadações passaram a aumentar, ultrapassando a barreira de R\$ 1 bilhão em 2010, e chegando à maior arrecadação em 2019 (Figura 6.4). Em relação à distribuição dos valores arrecadados, tomando-se como base o ano de 2019, com um total de R\$ 4,5 bilhões pagos de CFEM, 10%

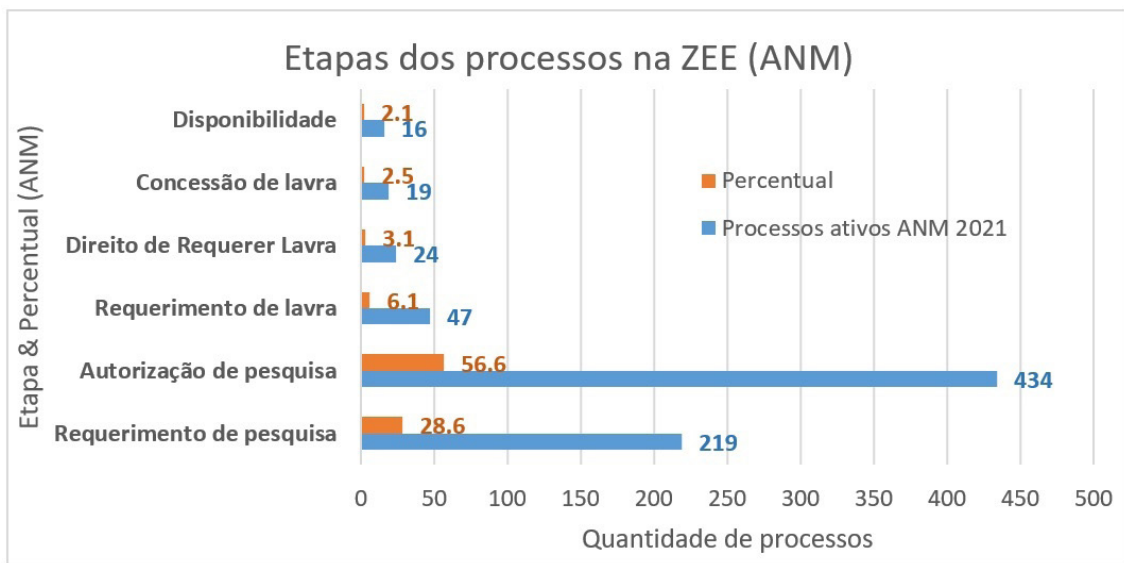


Figura 6.3 - Panorama geral dos processos na ZEE brasileira. Fonte: Os autores.

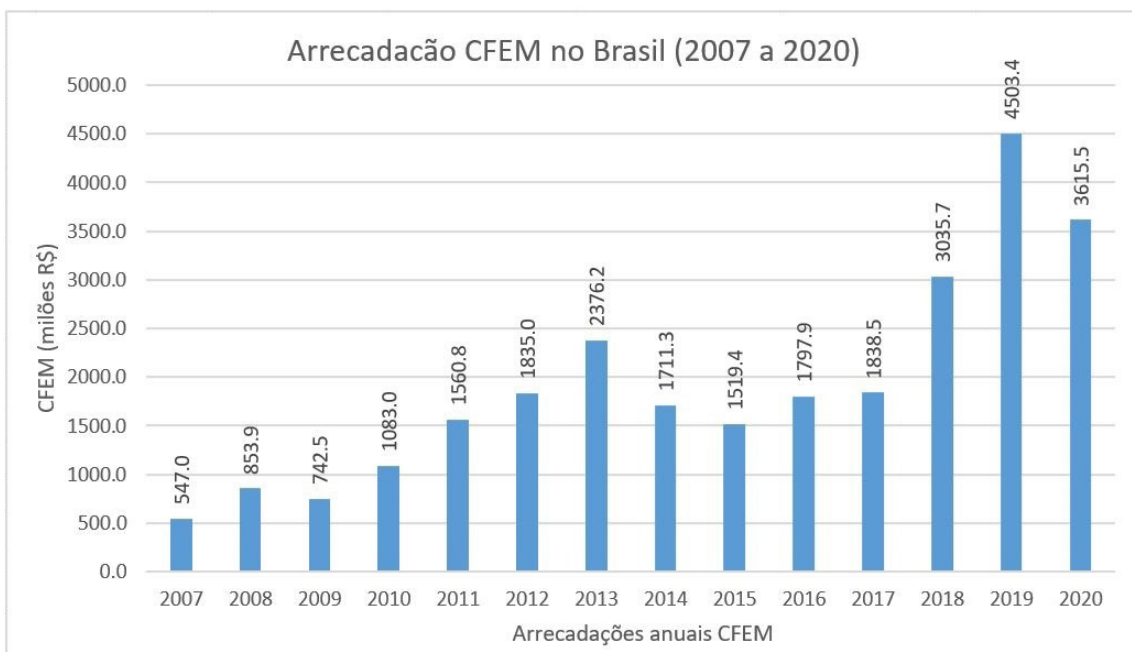


Figura 6.4 - Arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais no Brasil no período entre 2007 e 2020. Fonte: Os autores.

ou o equivalente a R\$ 450 milhões foram destinados à União e distribuídos entre a ANM (7%), FNDCT (1%), CETEM (1,8%) e Ibama (0,2%). Os estados e o Distrito Federal, onde ocorreu a produção, receberam 15%, neste caso cerca de R\$ 675 milhões, e coube aos municípios e ao Distrito Federal 60% do valor arrecadado, o que representou, em 2019 cerca de R2,7 bilhões. Há ainda o pagamento dos 15% restante para os municípios e Distrito Federal, afetados indiretamente, que em 2019 pagou R\$ 675 milhões. É sem dúvida uma contribuição significativa para os estados e municípios brasileiros aplicarem em projetos locais e reverterem em benefícios para o ambiente e a sociedade.

Os recursos recolhidos da CFEM são distribuídos aos estados, Distrito Federal, municípios e órgãos da administração da União, sempre relacionados ao local onde é realizada a exploração do minério. Os recursos

podem ser aplicados em projetos que revertam em benefícios da comunidade local, seja em melhoria da infraestrutura, da qualidade ambiental, da saúde ou educação (Instituto Minere, 2016).

O Ceará possui uma arrecadação modesta da CFEM, se comparado com os outros estados da Federação, ou até mesmo com os estados do Nordeste, sendo apenas o quarto em arrecadações na região, atrás da Bahia, Sergipe e Paraíba (Figura 6.5).

No período entre 2007 e 2020, a arrecadação da CFEM do estado do Ceará apresentou um crescimento, quando passou de pouco mais de R\$ 1,2 milhão para quase R\$ 8 milhões, em 2016, mantendo-se estável nos anos seguintes (Figura 6.6) isto é aumentou cerca de 612% em anos. O valor médio arrecadado foi de R\$ 4,5 milhões, representando 12% da arrecadação do estado da Bahia, maior produtor no Nordeste. Minas Gerais foi o

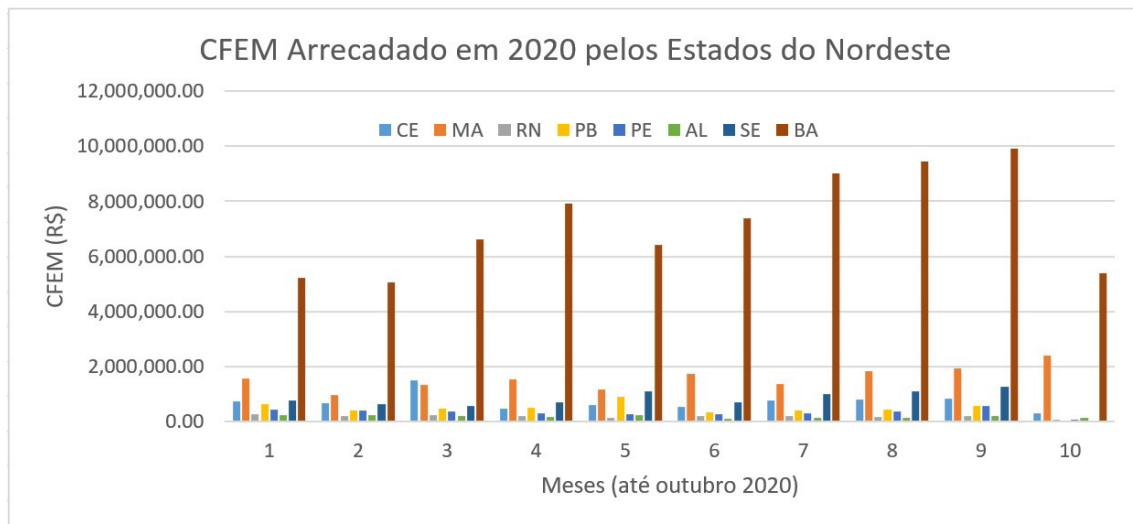


Figura 6.5 - Valores arrecadado com a CFEM nos estados do Nordeste até o mês de outubro se 2020. Fonte: Os autores.

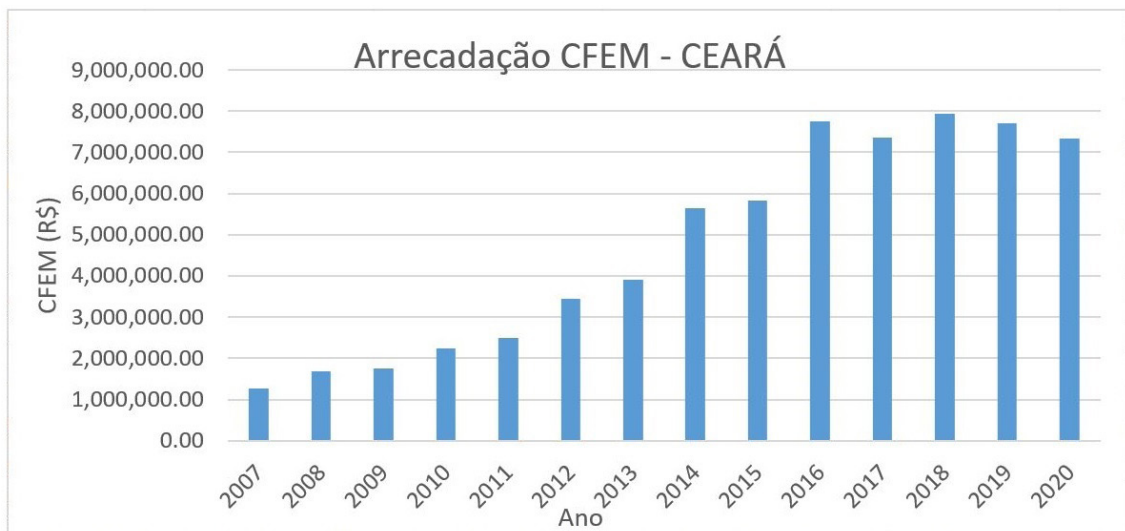


Figura 6.6 - Arrecadação do CFEM no estado do Ceará no período de 2007 a 2020. Fonte: Os autores.

estado brasileiro de maior arrecadação, com expressivo valor de R\$ 10 bilhões no período analisado.

Apesar de ser vista por alguns setores como uma atividade de alto impacto ambiental, a mineração em ambiente marinho, desde que bem regulamentada e controlada, pode ser uma alternativa viável e estratégica de melhoria da relação do homem com o mar, inclusive para contribuir com a conservação dos ambientes mais sensíveis. Experiências de exploração e exploração marinha no Brasil já são realizadas, sejam para a recuperação de faixas de praias erodidas ou para a comercialização dos granulados marinhos da plataforma continental e da zona costeira. Algumas empresas já comercializam os granulados marinhos bioclásticos no Brasil, com jazidas localizadas nos estados de Espírito Santo, Rio de Janeiro e Maranhão.

6.2. LEGISLAÇÃO SOBRE TRABALHOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL E A REGULAÇÃO DE EXPLOTAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS

No que diz respeito à regulamentação de pesquisas e atividades exploratórias na plataforma continental brasileira (Figura 6.7), alguns documentos importantes são listados a seguir.

A princípio, o cuidado com a preservação do meio ambiente expressa na Constituição Federal (Art. 225), que impõe ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo para as gerações presentes e futuras,

além de definir a necessidade de realização de estudo prévio de impacto ambiental para a instalação de obra ou atividade potencialmente poluidora.

A Lei Federal nº 6.938 de 31/08/81 (PNMA), no seu artigo 10º, estabelece a obrigatoriedade de licenciamento ambiental para atividades consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras capazes de causar degradação ambiental.

Na resolução CONAMA 001/86, são estabelecidas as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da avaliação do impacto ambiental.

A resolução CONAMA 006/86 dispõe sobre modelos de publicação de pedidos, concessões e renovações de licenças ambientais em diários oficiais e periódicos.

A resolução CONAMA 009/87 estabelece critérios para a realização de audiências públicas.

O Decreto Nº 96.000, de 2 de maio de 1988, dispõe sobre a realização de pesquisa e investigação científica na plataforma continental e em águas sob jurisdição brasileira, e sobre navios e aeronaves de pesquisa estrangeiros em visita aos portos ou aeroportos nacionais, em trânsito, nas águas jurisdicionais brasileiras ou no espaço aéreo sobrejacente. Este decreto, porém, não se aplica às pesquisas incluídas no monopólio da União, definidas na Constituição Federal (Art. 177) como pesquisas, lavras e atividades relacionadas ao petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos, assim como os minérios

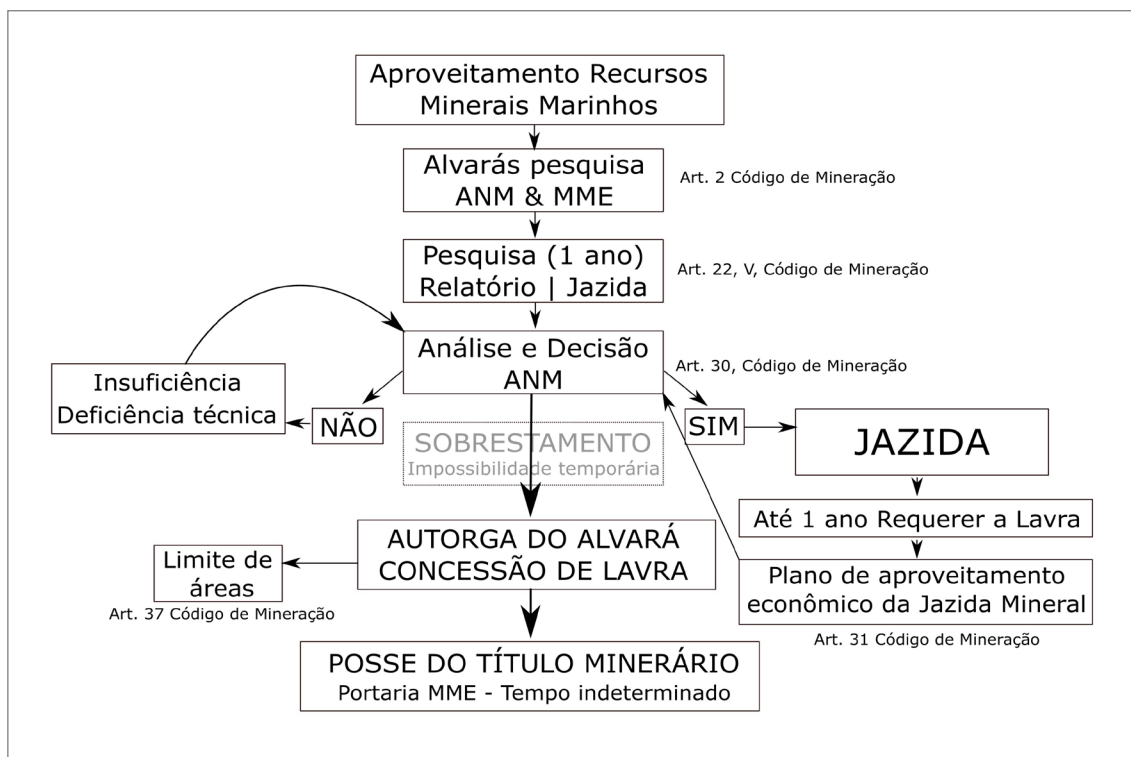


Figura 6.7 - Organograma para a regularização e posse de título minerário estabelecidas no Código de Mineração.

e minerais nucleares, não se aplicando, também, àquelas atividades reguladas por legislação específica.

O artigo 2º do Decreto Nº 96.000 estabelece que “Compete ao Ministério da Marinha autorizar e acompanhar o desenvolvimento de atividades de pesquisas e investigações científicas realizadas na plataforma continental e em águas sob jurisdição brasileira. A análise de seus resultados cabe ao Ministério da Marinha e aos demais órgãos interessados.”.

O Decreto Federal 97.632 de 10/04/89 estabelece, no seu Artigo 1º, que os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do EIA/RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente, plano de recuperação de área degradada (PRAD).

O Quarto Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM IV, 1994 - 1998) acrescenta que os depósitos de águas rasas são passíveis de exploração a curto prazo, tendo em vista a disponibilidade de tecnologias para seu aproveitamento econômico, mas pondera que a exploração desses recursos minerais, sem estudos prévios de impacto, poderá acarretar problemas ambientais e criar possibilidades de conflito com outras atividades, como a pesca, a navegação e o turismo.

Em 1996, a Resolução CONAMA 002/96 obriga a implantação de unidade de conservação para o licenciamento de obras de relevante impacto ambiental.

O Ibama, na portaria 147/97, regulamenta a exploração dos campos naturais de algas por pessoas físicas ou jurídicas.

A resolução CONAMA 237/97 dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental.

A Lei Federal 9.605, de 12/02/98, define sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

O regime de lavra garimpeira, destacando-se o Artigo 3º da Lei Federal 7.805 de 18/06/98, estabelece que a outorga da permissão de lavra depende de prévio licenciamento ambiental concedido pelo órgão ambiental competente.

A NORMAM 11/98 do Ministério da Marinha - Diretoria de Portos e Costas, é uma norma da autoridade marítima para obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas sob jurisdição nacional (regulamentada pela Portaria 027, de 12/05/98, do Ministério da Marinha - Diretoria de Portos e Costas).

A Lei Federal 9.966, de 28/04/00, dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.

Por fim, a Instrução Normativa IBAMA 46/2004 define os critérios para a exploração, a exploração, a comercialização e o transporte de algas marinhas no litoral brasileiro.

6.3. AGREGADOS MARINHOS NO BRASIL

Até pouco tempo atrás, a experiência de extração marinha no Brasil limitava-se à remoção, por dragagem, de sedimentos marinhos para o desassoreamento de canais portuários, de vias navegáveis e retificação de praias.

Santana (1997) ponderou que, até então, não havia praticamente nenhuma atividade de mineração na margem continental brasileira, excluindo-se a produção de hidrocarbonetos, e que apenas existia na faixa costeira, eventualmente estendendo-se até a zona de baixa-mar, alguma exploração de calcários no Nordeste, de barita na Bahia, minerais pesados na Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro e dragagens de concheiros na Baía de Todos os Santos e na Lagoa de Araruama, no estado do Rio de Janeiro.

Mesmo que incipiente e modesto, o mercado de aproveitamento dos agregados marinhos no Brasil possui algumas experiências interessantes, tanto de exploração como de geração de produtos inovadores, representando importantes impactos. Como exemplos, pode-se citar a utilização na recuperação de praias que ocorrem em praticamente todo o litoral brasileiro, a aplicação de agregados marinhos bioclásticos como potencializadores de fertilizantes, permitindo o aumento na produtividade da lavoura em até cerca de 45%, e a comercialização para alimentação animal e humana.

6.4. AGREGADOS MARINHOS EM OUTROS PAÍSES

Na França, enquanto o consumo de agregados de origens variadas está aumentando, a participação dos agregados aluviais continua a diminuir (68% em 1970, 55% em 1990, 40% em 2005) a favor do uso de agregados artificiais ou reciclados. Esse desenvolvimento, explicado pela crescente dificuldade de acesso ao recurso, gera problemas técnicos quanto ao uso na construção civil e no seu transporte. A busca por materiais de qualidade, em substituição aos agregados aluviais, levou a um crescente interesse por agregados marinhos que pudessem atender a algumas das necessidades (informações do site Sextante – Ifremer).

Devido à escassez dessa matéria-prima no continente Francês, os pedidos de licença de exploração de agregados marinhos aumentaram, fato que levou o primeiro ministro a encomendar em 2000, estudos sobre “*a resolução de conflitos de uso na área costeira, entre a pesca profissional e outras atividades*”. O trabalho conjunto entre o Instituto Francês de Pesquisa para a Exploração do Mar (Ifremer) e Serviço Geológico Francês (BRGM) sobre o recurso definiu áreas de extração favoráveis, coadunou as preocupações com a pesca e os imperativos econômicos e técnicos de fornecimento de agregados marinhos (DUIPLET, 2001).

Os granulados marinhos possuem grande importância entre as substâncias minerais marinhas extraídas na França. Devido à alta demanda por esta matéria-prima no país, foi realizado o inventário dos agregados marinhos no período de 1969 a 1981, em conjunto com o Ifremer e autoridades locais, em Nord-Pas de Calais, Bretanha, Guadalupe e Martinica, englobando as quatro áreas do território costeiro e marítimo voltados para o Oceano Atlântico.

Os recursos reconhecidos foram estimados em 33 bilhões de m³, dos quais 600 milhões são considerados reservas exploráveis, e identificados locais favoráveis à exploração do material.

O Ifremer possui na sua base de dados o catálogo *Sextant* que é a Infraestrutura de Dados Geográficos Marinhos e Costeiros do país com o objetivo documentar, disseminar e promover um cadastro de dados marinhos.

Em relação às autorizações de pesquisa e extração de agregados marinhos na França, apesar das limitações territoriais de uma Zona Econômica Exclusiva de 334 mil km², apenas 6% da ZEE brasileira (4,4 milhões km²), das quatro regiões em que foi dividida, em 2017, três possuíam pesquisas em desenvolvimento e em duas já haviam explorações em andamento.

As principais informações que levaram ao levantamento do inventário francês, como podem ser observadas na Figura 6.8: (A) os dados geofísicos nas áreas coloridas da imagem; e (B) os testemunhos ou furos de sondagens realizados no Mar do Norte, canal da Mancha e no Atlântico. Como resultado do mapeamento, algumas áreas já passam a ser exploradas (Figura 6.9).

Na França, a proporção de materiais marinhos na produção agregada total (Figura 6.10) permanece baixa: 1,5%, o que representa cerca de 6 milhões de toneladas (UNPG, 2003). A título de comparação, o Reino Unido

importa cerca de 21%, ou 22,2 milhões de toneladas, de areias e cascalhos siliciclásticos marinhos para o seu consumo interno (BMAPA, 2003).

No Reino Unido, os locais de prospecção são escolhidos não apenas por seu potencial geológico, mas também em relação à profundidade da água, distância do mercado de agregados e se há conflitos significativos com outras atividades marinhas ou áreas de preservação. Dados do fundo do mar levantados pelo Serviço Geológico Britânico (BGS) e outros são usados antes que as decisões sejam tomadas sobre áreas a serem pesquisadas em detalhes para determinar se os agregados (areia e cascalho) economicamente viáveis estão presentes. A indústria de agregados marinhos britânica aposta nos dados de perfil sísmico 2D como principal meio de investigar a geologia subsuperficial do leito marinho, cuja interpretação dos dados é assistida usando amostrador a vibração tradicional, com locais de amostragem escolhidos cuidadosamente a partir de uma interpretação sísmica inicial (BELLAMY, 2018).

Os agregados marinhos são localizados e extraídos na plataforma continental do Reino Unido pela dragagem dos depósitos naturais de areia e cascalho, ocorrendo em mais de cinquenta áreas licenciadas no Mar do Norte, Canal da Mancha, Canal de Bristol e Mar da Irlanda (Figura 6.11).

A indústria de agregados nos EUA gerou cerca US\$ 514 bilhões entre 1971 e 2016 (Figura 6.12), com média anual de faturamento de US\$ 11 bilhões. A contribuição dos agregados aumentou ano após ano até seu pico, em 2007, com US\$ 22,8 bilhões e, posteriormente, sofreu uma queda e voltou a crescer a partir de 2010.

Nos Estados Unidos, há diversas áreas em estudo e em produção no que se refere aos agregados marinhos.

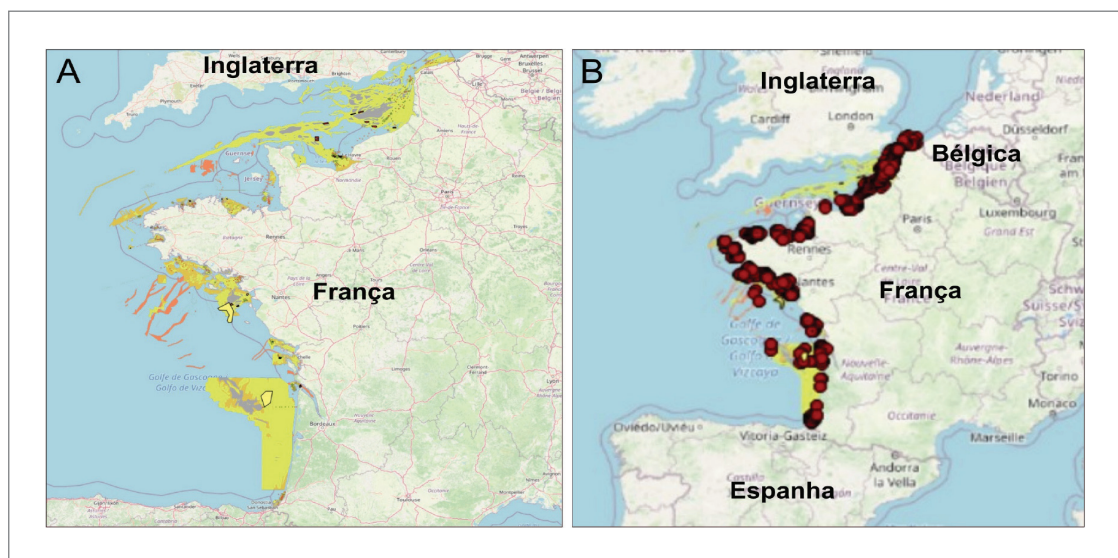


Figura 6.8 - Áreas mapeadas para o inventário de agregados marinhos na França, com dados geofísicos (A) e dados geológicos de testemunhos (B). Fonte: Sextante-Ifremer.

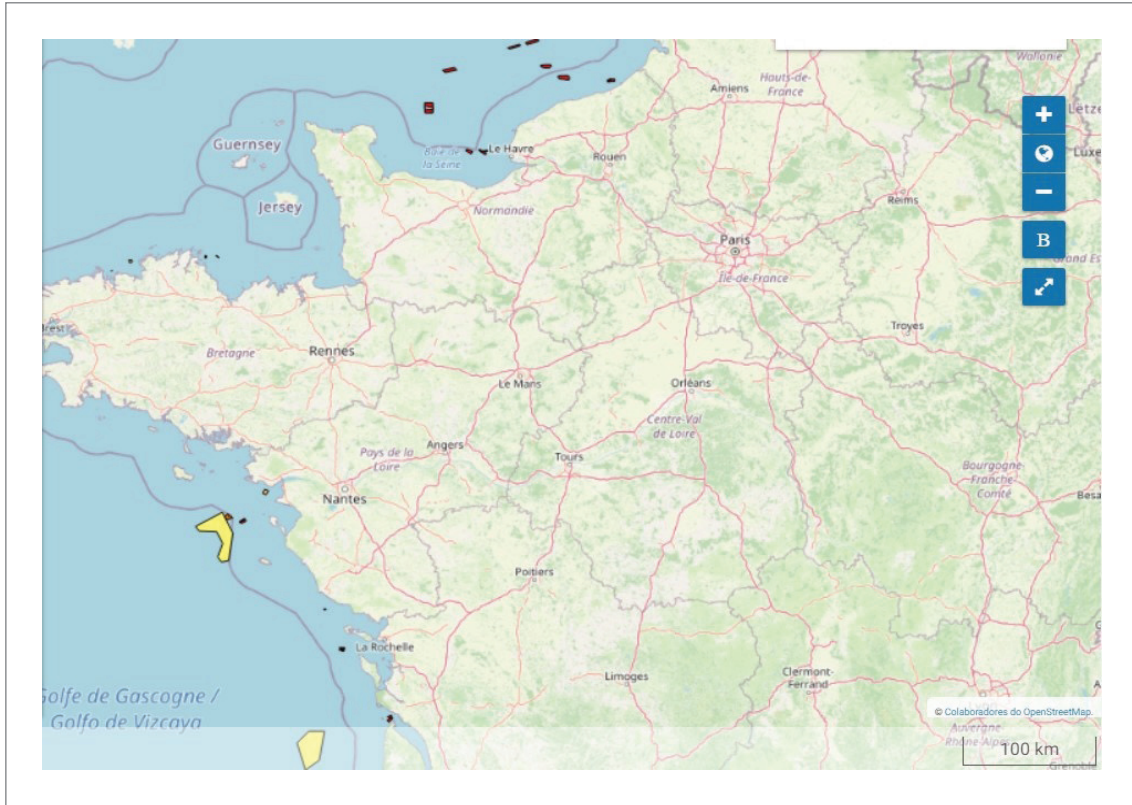


Figura 6.9 - Áreas em exploração na França. Fonte: Sextant-Ifremer.

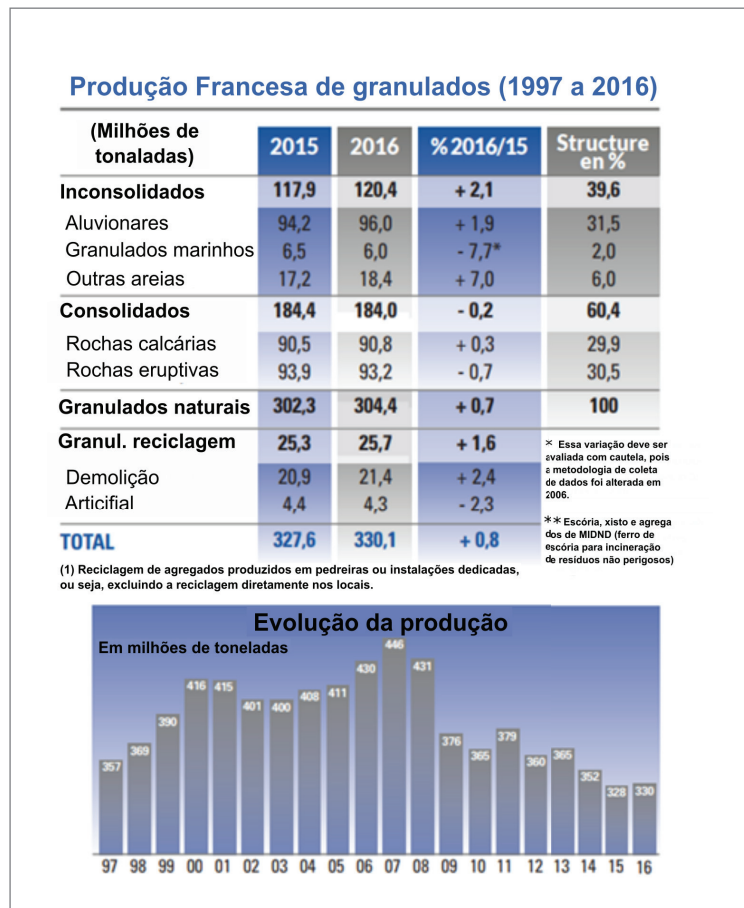


Figura 6.10 - Produção francesa de granulados e sua evolução entre 97 e 2016. Fonte: UNPG, 2003.

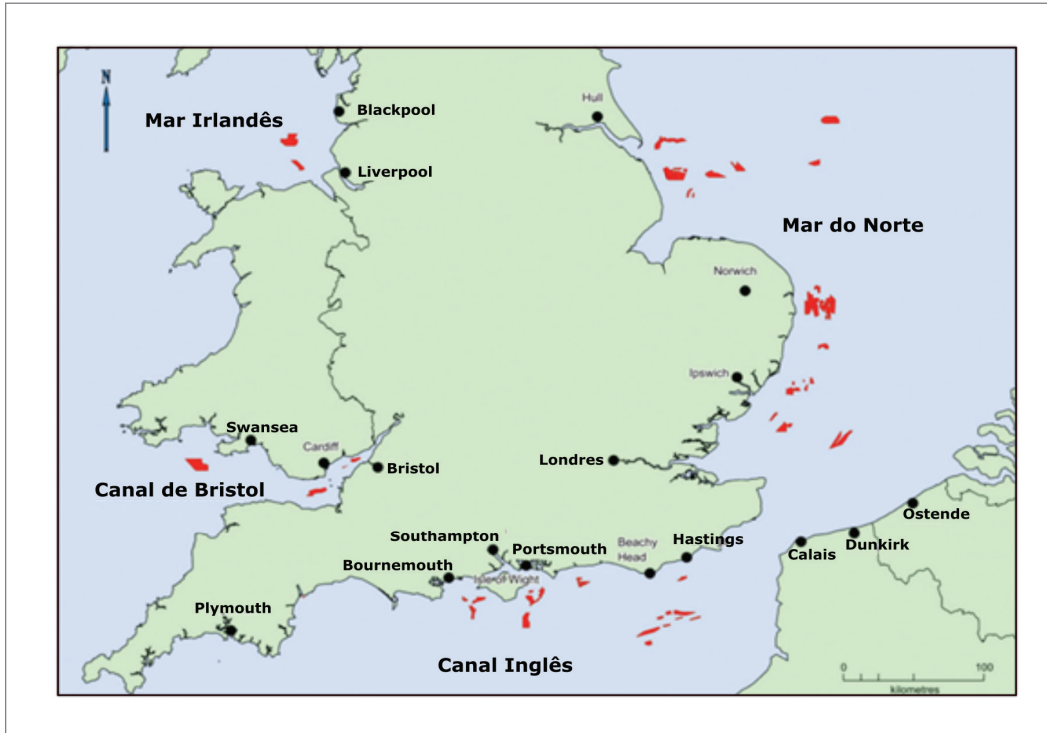


Figura 6.11 - Localização das áreas de licença de dragagem agregadas (mostradas em vermelho) fora do Reino Unido em 2017. Fonte: BMAPA, 2003.

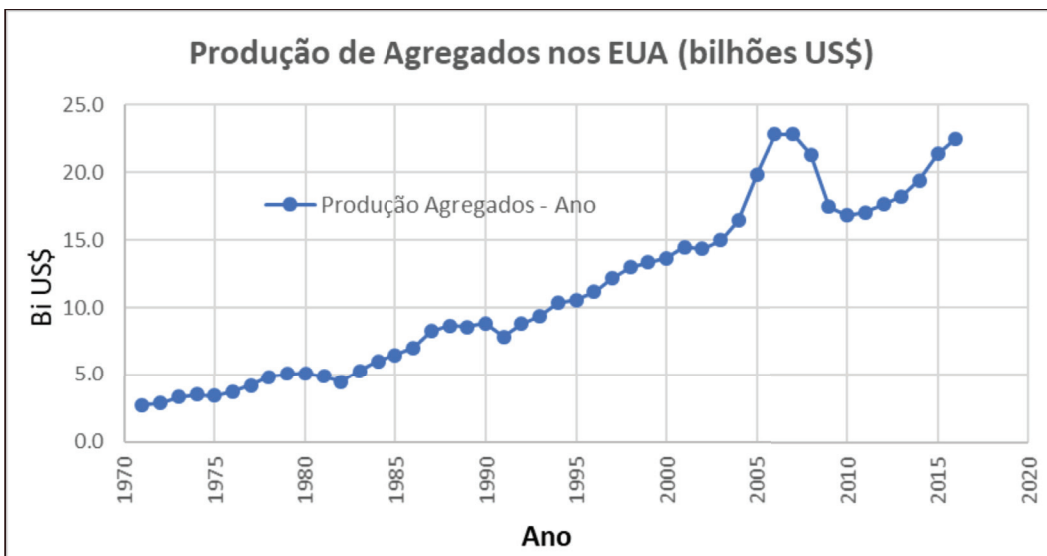


Figura 6.12 - Produção de agregados nos Estados Unidos da América. Fonte: USGS, 2020.

Os números da produção relacionados aos componentes marinhos como algas marinhas (*mäerl*) e conchas, apesar de escassos, são da ordem de US\$ 123 milhões no período de 2010 a 2016. Sendo informadas apenas 10 das 46 áreas em produção para essas substâncias. A média anual figura em torno de US\$ 10 milhões, com destaque para a produção de conchas na Florida, de acordo com as informações disponíveis no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

A produção e uso doméstico de areia e cascalho nos EUA, em 2019, segundo Sumário de Commodities Minerais do USGS de 2020, foi de 970 milhões de toneladas de areia e cascalho para construção, avaliadas em US\$ 9,0 bilhões. Foram produzidas por cerca de 3.870 empresas, operando em 6.830 pontos e 342 pátios de vendas, distribuídos nos 50 estados. Os principais estados produtores foram Texas, Califórnia, Arizona, Minnesota, Michigan, Washington, Ohio, Nova York, Utah e Colorado,

em ordem decrescente de tonelagem, que juntos responderam por cerca de 55% da produção total.

Em relação ao uso, estima-se que cerca de 46% da areia e cascalho da construção foram usados como agregados de concreto; 21%, para bases e coberturas e estabilização de estradas; 13%, como aterro de construção; 12%, como agregados de concreto asfáltico e outras misturas betuminosas e 4%, para usos diversos. Os 4% restantes foram usados em produtos de concreto, filtração, manutenção de campos de golfe, gesso, lastro de ferrovias, estabilização de estradas, grânulos de telhados e controle de neve e gelo (MCS, 2020).

6.5. A IMPORTÂNCIA DOS AGREGADOS MARINHOS

O licenciamento para atividades de exploração mineral no mar é um processo complexo e demorado. Apesar dos grandes desafios envolvidos, já é conhecido o impacto positivo de uma operação de mineração sobre empregos, receitas fiscais, outros negócios e inclusive com benefícios ambientais quando se busca realizar o conhecimento pormenorizado das atividades e de seus efeitos.

Em outros países, é um fato que a maioria dos agregados (brita, areia e cascalho) devem ser usados dentro de 50 milhas do local da extração. Isso significa que os materiais produzidos vão diretamente para as estradas locais, pontes e todos os projetos de obras públicas. Os agregados normalmente constituem mais de oitenta por

cento da mistura pronta de concreto e mais de noventa por cento da mistura de asfalto a quente que entra em estradas e pontes, segundo a Associação Nacional de Rochas, Areias e Cascalhos Norte-Americana (NSSGA).

Os materiais produzidos não apenas fortalecem as comunidades envolvidas, mas também geram empregos e desenvolvimento local direto e regional indiretos. Segundo estimativas de produção em outros países, cada trabalho em uma operação de agregados suporta quase cinco trabalhos fora da extração, como um incrível efeito multiplicador para as economias locais.

O impacto econômico da indústria de agregados naturais nos Estados Unidos, nas esferas nacional, estadual e municipal, mostrou que gera US\$ 27 bilhões em vendas anuais e emprega 100.000 trabalhadores com salários acima da média em todo o país. Também indica que cada dólar ganho pelos trabalhadores da pedreira gera outros US\$ 4,19 de ganhos em outros setores, e que cada dólar de vendas da operação sustenta outros US\$ 3,47 de vendas em outros setores.

Este panorama não é diferente no Brasil, cada vez mais aumentam as solicitações para exploração de jazidas e surgem produtos e alternativas para a sociedade. É inevitável, diante do crescente volume de consumo de materiais que estamos acostumados a demandar, a busca por expansão da produção nacional para reconstruir e melhorar nossa infraestrutura local e dar suporte a dezenas de empregos para as regiões.

Tabela 6.1 - Dados da indústria de agregados norte americana

NÚMEROS DA INDÚSTRIA DE AGREGADOS NORTE AMERICANA	
Vendas agregadas da indústria	US\$ 27 bilhões:
Salário médio anual de trabalho em pedreira	US\$ 75.129
Impostos pagos pela indústria de agregados	US\$ 570 milhões
Porcentagem de agregados produzidos dentro de 50 milhas de onde são consumidos	90%
Número de empregos adicionais que cada trabalho de pedreira cria em toda a economia	4,87
Quantidade de ganhos em outros setores gerados por cada US\$ 1 ganho na indústria de agregados	US\$ 4,19

7. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada no setor Bitupitá da plataforma continental oeste do Ceará concentrou esforços no estudo da compreensão da morfologia de fundo e, principalmente, na composição litológica, abrangendo atributos importantes à gestão costeira e ambiental, como as caracterizações textural e geomorfológica do assoalho marinho, de modo a revelar o potencial mineral das áreas.

Para tanto, realizou-se o levantamento batimétrico em conjunto com a coleta geológica do material sedimentar superficial, na escala de 1:100.000, o que permitiu, com sucesso, realizar o estudo da sedimentologia e da sua distribuição espacial no setor.

Os esforços de pesquisa em áreas marinhas no Brasil são ainda pequenos em relação a outros países, porém a abundância de recursos naturais, a grande extensão de regiões por conhecer e o crescente apelo por novos materiais indicam a necessidade de mais estudos e um futuro próximo voltado para o mar.

Dentre os principais resultados da pesquisa, destacam-se os seguintes produtos: carta batimétrica, modelo digital de terreno, cartas textural e geomorfológica, carta de distribuição dos percentuais das frações predominantes (cascalho e areia), carta do teor de carbonado de cálcio e as informações que conferem ao conjunto de sedimentos analisados uma excelente qualidade para um eventual aproveitamento econômico.

Os resultados obtidos proporcionam a geração de informações básicas importantes, indicam áreas de acúmulo de sedimentos superficiais com potencial de exploração e produção, necessitando ainda de maiores detalhamentos, e consolidam métodos nas pesquisas em áreas marinhas rasas, necessárias para subsidiar a tomada de decisão por parte de órgãos governamentais e empresas públicas e privadas, relacionadas à gestão ambiental da plataforma continental oeste do estado do Ceará – Setor Bitupitá.

A pesquisa foi executada pela Superintendência Regional de Recife, pela Residência de Fortaleza e pela Universidade Federal do Ceará, sob a coordenação-geral da Diretoria de Geologia e Recursos Minerais (DGM) e dos Departamentos de Recursos Minerais (DEREM) e de Geologia (DEGEO).

Em relação à composição dos sedimentos marinhos mapeados, afirma-se que no aspecto geral são misturas

entre materiais siliciclásticos e bioclásticos. Os sedimentos de origem biogênica predominam. Especificamente sobre o comportamento do cálcio e do magnésio nos sedimentos estudados, os resultados são interessantes do ponto de vista da qualidade dos granulados marinhos bioclásticos pesquisados em relação a outros. Apesar da presença de aporte misto, a plataforma cearense apresenta alta energia, com forte retrabalhamento de minerais detríticos e alta produção de sedimentos carbonáticos, influenciado pelas altas temperaturas, intensa irradiação solar e pelos fortes ventos e correntes locais.

No que se refere ao potencial dos sedimentos mapeados na área de pesquisa, é flagrante a constatação que os componentes maiores, como os óxidos de Ca, Si e Mg, dentre outros, e os elementos menores representam recursos de grande importância e utilidade para a sociedade, considerando apenas às demandas já estabelecidas no país, tais como a agricultura, pecuária, cosméticos etc. O desenvolvimento de novos produtos com esses materiais é um próximo passo necessário e que já vem ocorrendo de forma modesta.

Diversos outros benefícios deverão ser proporcionados pelo uso dos produtos, dentre eles: a redução da dependência de importação de fertilizantes (mais de 60% dos fertilizantes utilizados no país são importados, representando gastos da ordem de um bilhão de dólares anuais); aumento das exportações de produtos agrícolas brasileiros (com potencial de dois bilhões de dólares anuais); melhoria dos solos na agricultura e redução da contaminação ambiental pela lixiviação dos fertilizantes químicos à base de NPK; e desenvolvimento de novos produtos e de usos e aplicações.

A área mapeada apesar de indicar setores-alvo com grande potencial de aproveitamento, deve ser melhor estudada de modo que características e processos relativos aos depósitos sejam detalhados. Estudos de subsuperfície, não realizados na pesquisa, devem ser realizados para a quantificação e cubagem dos volumes e extensão e caracterização das jazidas. Detalhamentos dos componentes bióticos e da comunidade bentônicas são também de extrema importância para a análise da linha de base ambiental. Por fim, ensaios tecnológicos são também indicados para melhor direcionamento de uso dos insumos pesquisados.

REFERÊNCIAS

- ABREU NETO, J. C. **Geodiversidade da plataforma continental de Icapuí, Ceará: uma proposta de identificação de áreas chave em ambientes marinhos**. 2017. 125 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2017.
- AGUIAR NETO, A. B. **Ocorrências de minerais pesados na plataforma continental interna/média oeste do Ceará**. 2015. 118 f. Tese (Doutorado em geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2015.
- ALGAREA Mineração Ltda., 1997. **SUMINAL®**, Mimeo, Rio de Janeiro, 4p.
- ALMEIDA F., SCHIAVO, L.V., VIEIRA, A.D., ARAÚJO, G.L., QUEIROZ-JUNIOR, C.M., TEIXEIRA, M.M., CASSALI, G.D., TAGLIATI, C.A., **Gastroprotective and toxicological evaluation of the Lithothamnion calcareum algae**. Food and Chemical Toxicology 50 (2012) 1399–1404
- ALMEIDA, N. M. de; LEHUGUER, L. G. de O.; FREIRE, G. S. S.; SANTOS, D. M.; AGUIAR NETO, A. B. **Assembleia de minerais pesados da plataforma continental - porção oeste do Estado do Ceará, Brasil**. Revista de Geologia, Fortaleza, n.24, n.1, 2011.
- AMARAL, R. F., SANTOS, J. R., ARAÚJO FILHO, L. P. – **Carta Textural da Plataforma Continental Rasa do Rio Grande do Norte-Setor Touros**. Recife: CPRM, 2015. 1 mapa color., 73,25 x71,99cm, escala: 1:100.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica. Folha de referência:SC-25-V -C-II).
- ANTÔNIO B. DE AGUIAR NETO, WANESSA S. MARQUES, GEORGE S. S. FREIRE, Distribuição espacial de minerais pesados nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental Oeste do Ceará, Nordeste do Brasil. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78193>. v. 43, n. 1 (2016).
- ASSIS, H. M. B. (Coord.) *et al.* - **Carta de Declividade da Plataforma Insular do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Recife: CPRM, 2014. 1 mapa color., 97,00x 75,75cm, escala: 1:18.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica).
- ASSIS, H. M. B. (Coord.). *et al.* **Carta de Caracterização dos Agregados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Estado de Pernambuco**. Folhas de referência: SB.25-Y-C e SC.25-V-A. Recife: CPRM, 2015. 1 mapa color., 83,71cm x 79,70 cm, escala: 1:250.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica).
- ASSIS, HORTENCIA MARIA BARBOSA (COORD.); LOPES, HOLLY; GOMES, RONALDO BEZERRA; SALVIANO, KATIANE DOS SANTOS; VALLE, MARCIO MARTINS; OLIVEIRA, PATRÍCIA REIS ALENCAR; MOURA, LUIZ PAULO. **Carta textural e geomorfológica da Plataforma Rasa de Alagoas, setor Maceió Oeste**. Recife: CPRM, 2016. 1 mapa color. 93x84cm, escala: 1:100.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica. Folhas de referência: SC-25-V-C-IV, SC-24-X-D-VI e S C-24-Z-B-III).
- ASSIS, HORTENCIA MARIA BARBOSA (COORD.); LOPES, HOLLY; GOMES, RONALDO BEZERRA; SALVIANO, KATIANE DOS SANTOS; VALLE, MARCIO MARTINS; OLIVEIRA, PATRÍCIA REIS ALENCAR; MOURA, LUIZ PAULO. **Carta textural e geomorfológica da Plataforma Rasa de Alagoas, setor Piaçabuçu**. Recife: CPRM, 2016. 1 mapa color. 94 x 72cm, escala: 1:100.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica. Folhas de referência: SC-24-Z-B-III e SC-24-Z-B-VI).
- ASSIS, HORTENCIA MARIA BARBOSA (COORD.); LOPES, HOLLY; GOMES, RONALDO BEZERRA; SALVIANO, KATIANE DOSSANTOS; VALLE, MARCIO MARTINS; OLIVEIRA, PATRÍCIA REIS ALENCAR; MOURA, LUIZ PAULO. **Carta textural e geomorfológica da Plataforma Rasa de Alagoas, setor Maceió Leste**. Recife: CPRM, 2016. 1 mapa color. 96x78cm, escala: 1:100.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica. Folhas de referência: SC-25-V-C-IV, S C-25-V-C-Ie S C-25-V-C-II).
- ASSIS, HORTENCIA MARIA BARBOSA (COORD.); LOPES, HOLLY; GOMES, RONALDO BEZERRA; SALVIANO, KATIANE DOSSANTOS; VALLE, MARCIO MARTINS; OLIVEIRA, PATRÍCIA REIS ALENCAR; MOURA, LUIZ PAULO. **Carta textural e geomorfológica da Plataforma Rasa de Alagoas, setor Porto Calvo**. Recife: CPRM, 2016. 1 mapa color. 96,55x82,86cm, escala: 1:100.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica. Folhas de referência: SC-25-V-A-V, SC-25-V-C-II e SC-25-V-C-I).
- ASSIS, H. M. B. (Coord.) *et al.* – **Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Leste do Ceará**. Recife: CPRM, 2007. 3 mapas. Informe de Recursos Minerais Marinhos, 01.
- ASSOUMANI, M.B. **Aquamin, a natural calcium supplement derived from seaweed**. Agro-food-Industry Hi Tech. September/October 1997.
- BANDEIRA-PEDROSA, M. E. F., PEREIRA, S. M. B., & OLIVEIRA, E. C. (2004, JUNE). **Taxonomy and distribution of the green algal genus Codium (Bryopsidales, Chlorophyta) in Brazil**. Revista Brasil Botânica, 27(2), 363–377. <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2010/0091-0087>.
- BARRETO, L. A. **Depósitos de Pláceres Econômicos na Plataforma Continental** – Relatório Interno 247 SGB/CPRM, Projeto REMAR. 1972.
- BELLAMY, A.G. 2018. **Marine sand and gravel prospecting and seabed investigations for aggregate extraction**. Pp. 205–215 in Hunger, E., Brown, T. J., Smith, G. and Anderson, P. (Eds.) Proceedings of the 19th Extractive Industry Geology Conference 2016 and technical meeting 2017, EIG Conferences Ltd, 256pp.
- BEZERRA, R. G.; MARQUES, W. S.; ASSIS, H. M. B (Coord.). **Carta Textural da Plataforma Rasa do Ceará Oeste, setor Bitupitá**. Recife: CPRM, 2018. 1 mapa color., 62,67cm x 88,87cm, Escala

1:100.000 (Programa Mar, Zona Costeira e Antártica. Folha de referência: SA.24-Y-A-V)

BRANDÃO, R. L. **Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza** – Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza: CPRM, 1995. 105p. il

BRASIL. Revista de Geologia (UFC), p. 579 – 600, 1968.

BULLER, A. T. B., & MCMANUS, J. (1972). **Simple Metric Sedimentary Statistics Used to Recognize Different Environments**. *Sedimentology*, 18(1-2), 1–21. doi:10.1111/j.1365-3091.1972.tb00001.x

CAMARGO, M. G. (2006) **SysGran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento**. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(5): 345–352.

CAMARGO, MG (2001) - **Análise experimental das interações biológicas da macrofauna e meiofauna benthica de manguezais das baías de paranaguá e antonina - PR**, Tese de doutorado. UFPR. Brasil.

CAMPELO, R. C. – **Análise de Terrenos na Porção Setentrional da Província Borborema, NE do Brasil: Integração de Dados Geológicos e Gravimétricos**. 1999. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CAVALCANTI, V. M. M. O **Aproveitamento de granulados bioclásticos marinhos como alternativa para a indústria de fertilizantes no Brasil** - Relatório Final / Vanessa Maria Mamede Cavalcanti. – Brasília: DNPM, 2020. 85 p.

CAVALCANTI, V. M. M. **Plataforma continental: a última fronteira da mineração brasileira** / Brasília: DNPM, 2011. 104 p: il.

CDC - COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ. **Reformulação do Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Fortaleza**, 2016.

COMPARIN, M. A. S. **Chemical composition and fatty acid profile of meat from heifers finished on pasture supplemented with feed additives**. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, Salvador, v.16, n.3, p.606-616 jul./set., 2015, ISSN 1519 9940.

COUTINHO, P. N. **Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil** -Oceanografia Geológica. Jan, 1996.

COUTINHO, P. N., MORAIS, J. O. **Distribucion de los sedimentos en la plataforma continental norte y nordeste del Brasil**. *Arq. Ciên. Mar, Fortaleza*, v. 10, n. 1, p. 79-90, 1970.

COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. **Distribución de los sedimentos en la plataforma continental norte y nordeste del Brasil**. *Arq. Ciên. Mar, Fortaleza*, v. 10, n. 1, p. 79-90, 1970.

DANTAS, LUIZ CARLOS MAIA, - **Subsídios ao Plano de Manejo do Parque Nacional de Jericoacoara**. Relatório de Meio Físico – ICMBio, 2009. Brasília– DF.

DIAS, G. T. M. - **Granulados Bioclásticos** - Algas Calcárias - *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 18(3), 2000.

DIAS, J. A. - **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos** (Uma Introdução à Oceanografia Geológica) - Versão Preliminar -Universidade do Algarve, Faro, 2004.

DIETZE E AND DIETZE M. 2019. **Grain-size distribution unmixing using the R package EMMAgeo**, *E&G Quaternary Sci. J.*, 68, 29–46, <https://doi.org/10.5194/egqsj-68-29-2019>.

DIETZE E, HARTMANN K, DIEKMANN B, IJMKER J, LEHMKUHL F, OPITZ S, STAUCH G, WÜNNEMANN B, BORCHERS A. 2012. **An end-member algorithm for deciphering modern detrital processes from lake sediments of Lake Donggi Cona, NE Tibetan Plateau, China**. *Sedimentary Geology* 243-244: 169-180.

DTA ENGENHARIA; CDC - Companhia Docas Do Ceará. **Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) do Porto de Fortaleza para o Horizonte 2009-2020**. Fortaleza, CE, Brasil. 2010.

DUPILET, **A resolução de conflitos de uso na área costeira, entre a pesca profissional e outras atividades**. Relatório ao Primeiro Ministro. 2001.

DUTRA, A.V.G.; AGUIAR, J.C.F.; ANTÚNEA, N.L. **Utilización del concentrado de alga calcarea (Lithothamnium sp.) em la racion de Helix aspersa**, MULLER, 1774 (Gastropoda, helicidae). *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*. V.3, n.3, p.429-441. 1989.

EMERY K. O. **Economic Placer Deposits of the Continental Shelf**, U.N., C.C.O.P. Technical Bulletin Nº 1, Vol. 1, p. 95-111, 1968.

EVANGELISTA, A. W. P., A. R. M., ALVES JÚNIOR J., CASAROLI, D., LEANDRO W. M. & SOUZA, J. L. M., **Irrigation and lithothamnium fertilization in bell pepper cultivated in organic system**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br> ISSN 1807-1929, v.20, n.9, p.830-835, 2016.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters**. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

FOLK, R.L. **Petrology of sedimentary rocks: Hemphill Publishing Co.**, Austin, Texas. 1974, 182 p.

FREIRE, G. S. S. **Geologia marinha da plataforma continental do Estado do Ceará**. 132 p. Tese (Mestrado em Geologia Marinha) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1985.

FREIRE, G. S. S.; CAVALCANTI, V. M. M. **A Cobertura sedimentar quaternária da plataforma continental do estado do Ceará**. Brasília: DNPM, Vol. 1, 42 p. 1998.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/app/pagina/show/169>> Acesso dia 02 Jan. 2020.

GOLDBERY, R., **Use of grain-size frequency data to interpret the depositional environment of the Pliocene Pleshet Formation, Beer Sheva, Israel**. 1980. *J. Sedlm. Petrol.* 50, 843 - 856.

HARVEY, A. S.; BROADWATER, S. T.; WOELKERLING, W. J. & MITROVSKI, P. J. **Choreonema (Corallinales, Rhodophyta):**

- 18S rDNA phylogeny and resurrection of the Hapalidiaceae for the subfamilies Choreonematoideae, Austrolithoideae and Melobesioideae.** *Journal of Phycology* 39: 988-998. 2003.
- HAY, W. W. **Paleoceanography: a review from Geological Society of America Bulletin Centennial.** *Geological Society of America Bulletin*, v. 100, p. 181-204. 1988.
- HLUCHAN, S. E., & POMERANTZ, K. (2006). **Calcium and Calcium Alloys.** *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. doi:10.1002/14356007.a04_515.pub2.
- IBAMA, Diretoria de Licenciamento Ambiental. Programas de recuperação de Áreas degradadas (Prads) em licenciamentos ambientais de mineração/ Aline Fonseca de Carvalho (org.) 41 p.; il. - Brasília: Ibama, 2019.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências. Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil. 176p. Rio de Janeiro. Brasil, 2011.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia . Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010, Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Exedito Ronald Gomes Rabello. INMET, Brasília/DF, Brasil, 2018.
- INSTITUTO MINERE, 2016—O que é o CFEM, Material Didático da turma de Direito Minerário. Belo Horizonte. Fonte: <https://institutominere.com.br/blog/o-que-e-cfem> acessado em 15/09/20.
- JAGALINGAM, P.; AKSHAYA, B. J.; HEDGE, A. V. **Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery.** *Procedia Engineering* 116, 560 – 566 p. 2015.
- KEMPF, M.; COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. **Plataforma continental do norte e nordeste do Brasil.** *Revista de Geologia (UFC)*, p. 579 – 600, 1968.
- KISU K., KIM S., SHINOHARA T., ZHAO K., ANDREAS Z., E ORIMO S. - **Monocarborane Cluster as a Stable Fluorine-Free Calcium Battery Electrolyte.** *Journal: Scientific Reports*, DOI: 10.1038/s41598-021-86938-0, TOHOKU University, 2021.
- LABTRANS - Laboratório de Transportes e Logística; SEP/PR - Secretaria de Portos Da Presidência da República; UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Plano Mestre Porto do Mucuripe. Florianópolis, SC. 2015.
- LARSONNEUR, C. **La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche.** *J. Rech. Oceanogr.*, v. 2, p. 34–39. 1977.
- LIMA, S. F. *et al.* **ANASED: programa de análises, classificação e arquivamento de parâmetros metodológicos.** In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS QUARTENÁRIOS, 13., 2001. Mariluz-Imbé. Anais...Mariluz-Imbé: ABEQUA, 2001, v.8, p. 458-459
- LYZENGA, D. R. **Passive remote sensing techniques for map-ping water depth and bottom features.** *Appl. Opt.* 17: 379–383. 1978.
- LYZENGA, D. R. **Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Land-sat data.** *Int. J. Remote Sens.* 1: 71–82. 1981.
- MARITORENA, S., A. MOREL, ANDB. GENTILI. **Diffuse reflectance of oceanic shallow waters: Influence of water depth and bottom albedo.** *Limnol. Oceanogr.* 39: 1689–1703. 1994.
- MARTINS L. R., MELO, U., FRANÇA, A. M. C., SANTANA, C. I., & MARTINS, I. R. 1972a. **Distribuição Faciológica da Margem Continental Sul Riograndense.** Congresso Brasileiro de Geologia. 26º Anais (2) 115-132. Belém. 1972 Brasil.
- MARTINS L. R., VILLWOCK, J. A., MARTINS, I. R. 1972b. **Estudo Preliminar Sobre a Distribuição Faciológica da Plataforma Continental Brasileira.** Pesquisas, Porto Alegre, v1, p. 51-56, Brasil. 1972.
- MARTINS, L. R., NUNES, J. C. **Granulados marinhos terrígenos.** *Gravel*. ISSN 1678-5975. Dez. 2007. No. 5, p. 39-46. Porto Alegre.
- MASON, C.C., FOLK, R.L., 1958. **Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis.** Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Petrology*, 28, 211-226.
- McCammon, R. B. (1962) **Efficiencies of percentile measurements for describing the mean size and sorting of sedimentary particles.** *Journal of Geology*, 70: 453–465.
- MCS, 2020 – U.S. Geological Survey, **Mineral Commodity Summaries**, January 2020
- MELO, T. V. **Utilização de Farinha de Algas Marinhas (Lithothamnium calcareum) e de Fosfato Monoamônio em Rações para Codornas Japonesas em Postura Criadas Sob Condições de Calor.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF Campos dos Goytacazes – RJ. Março – 2006.
- MINARI, G. **Baterias de cálcio podem ser a fonte de energia do futuro.** *Ciência. Canaltech*, 2021. Acessado em 27/04/2021: <https://canaltech.com.br/ciencia/baterias-de-calcio-podem-ser-a-fonte-de-energia-do-futuro-182318/>.
- MONTALVERN, A.; COUTINHO, P. N. **Províncias sedimentares na plataforma continental de Pernambuco.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1982, Salvador. UFBA, 1982. p. 1524-1430.
- MORAES, M. V. A. R. – **Morfologia e Sedimentologia do Litoral da Plataforma Continental Interna do Município de Acaraú – Ceará – Brasil.** Tese doutorado, UFPE, 2012, Recife, Pernambuco.
- NASCIMENTO, V F. **Análise dos Bioclastos Marinhos da Região Sul da Plataforma Continental de Pernambuco,** Brasil. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba. 2016. 47 p.
- NUNES, J. M. C., GUIMARÃES, S. M. P. B., DONNANGELO, A., FARIAS, J. & HORTA, P. A., **Aspectos Taxonômicos de Três Espécies de Coralináceas não Genticuladas do Litoral do Estado da Bahia, Brasil.** *Rodriguésia* 59 (1): 075-086. 2008.
- OCEANA MINERALS, 2020 - <http://oceanaminerals.com/>, acessado em 17/08/2020.
- OTTO, G. H. (1939) **A modified logarithmic probability paper for the interpretation of mechanical analysis of sediments.** *Journal of Sed. Petrol.*, 9: 62–76.

- PARTENOFF, A., POMEROL, C., ET TOURENG, J. 1970. **Les minéraux en grains - Méthodes d'études et détermination**. 578 p. Masson et Cie, Paris.
- PEDROSA JUNIOR, N. C. (CPRM). (2015). **Interpretação e Modelagem de Dados Geofísicos no Estudo da Evolução Geotectônica do Rifte de Jaibaras – NE do Brasil** [UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA]. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14829>.
- PEJRUP, M. (1988) **The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach**. in: Tide-influenced sedimentary environments and facies. BOER, P.L. ; GELDER, A. & NIO, S.D. (Eds). D. Reidel Publishing Company. Holland.
- PEJRUP, MORTEN., **Suspended sediment transport across a tidal flat**, Marine Geology, Volume 82, Issues 3–4, 1988, Pages 187-198, ISSN 0025-3227, [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(88\)90140-5](https://doi.org/10.1016/0025-3227(88)90140-5).
- PHILPOT, W. D. **Bathymetric mapping with passive multi-spectral imagery**. Appl. Opt. 28: 1569–1578. 1989.
- POPPE, L. J.; ELIASON, A. H.; HASTINGS, M. E. **A visual basic program to generate sediment grain-size statistics and to extrapolate particle distributions**. Computers and Geosciences, vol. 30, nº. 7, p. 791–795, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.05.005>.
- PORPHÍRIO, *et al.*, 2010 - **Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios**, 5ª Edição – Cap. 3(Parte I) – pág. 57–84. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina A. França.
- SANTANA, C. I. - **Recursos Minerais da Margem Continental Brasileira e Bacias Oceânicas Adjacentes**. Relatório de viagem. Anexo mapa [s.l.]: CPRM, 1997. 37p.
- SANTANA, C. I. **Mineral Resources of the Brazilian Continental Margin and adjacent oceanic regions**. Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin. 39-49. OAS/IOC-UNESCO/MCT. Publication. Porto Alegre. Brasil. 1999.
- SANTOS, D. M., **Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna da área Bitupitá – Ceará/Brasil**. - 2018. 105folhas, Il.; Tab. e Sigl.
- SANTOS, J. R. **Caracterização morfodinâmica e sedimentologia da plataforma continental rasa na APA estadual dos recifes de corais, RN**. Orientador: Ricardo Farias do Amaral. Natal, 2010. 73 p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Programa de pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- SANTOS, T.J.S.; HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A. H.; NOGUEIRA NETO, J. A.; SCHMUS, W. R. V. **Geochronology U-Pb Sm/Nd and Rare Earth Element Geochemistry of the Supracrustal Sequence of the NW Borborema Province - NE Brazil**. Anais do XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, p. 29, 1998.
- SCHLEE, J., 1973, **Atlantic continental shelf and slope of the United States – sediment texture of the northeastern part**: U.S. Geological Survey Professional Paper 529-L, 64 p.
- SHEPARD, F. P. (1954) **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios**. Journal Sedimentary Petrology, 24:151–158.
- SHEPARD, F. P. Nomenclature base on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Research**, vol. 24, No. 3, p. 151-158, 1954. <https://doi.org/10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- SILVA, C. G., **Pláceres Marinhos**. Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(3), 2000
- SOUZA, K. G., MARTINS, L. R., CAVALCANTI V. M., PEREIRA C. V. & BORGES L. F. – **Recursos Não-Vivos da Plataforma Continental Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes**. Gravel, Edição Especial, 86p, Porto Alegre, Março, 2009.
- SRH - Secretaria de Recursos Hídricos. **Comitês de Bacias Hidrográficas**. Fortaleza, 2019. Disponível em: <<https://www.srh.ce.gov.br/>> Acesso em 02 Jan. 2020.
- STUMPF, R.P., HOLDERIED, K. **Determination of Water Depth with High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types**, Limnology and Oceanography, 48(1):547-556. 2003.
- SUGUIO, K. ; NOGUEIRA, A. C. R. . **Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais**. Geociências (São Paulo) , Rio Claro, SP, v. 18, p. 461-479, 1999.
- SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. Edgard Blucher/ EDUSP, Sao Paulo, 317 p. 1973.
- TAGLIARI, C. V. **Ambientes de Sedimentação mista (siliciclástica e carbonática), cicloestratigrafia e halocinese durante o Albiano**, Plataforma de Regência, Bacia do Espírito Santo. 2013. 207 f.
- TANNER, W.F. (1995) **Environmental clastic granulometry**. Florida Geological Survey, Special Publication 40. 142 pp.
- TINOCO, I.M. **Introdução aos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes**. Ed. Universitária da UFPE, PROED, 220p, 1989.
- TRASK, P. D. (1930) **Mechanical analysis of sediments by centrifuge**. Economic Geology, 25: 581–599.
- UNITED NATIONS (1979). **The International Classification of Mineral Resources**. United Nations/Committee on Natural Resources, doc. E/C. 7/1C4, 13pp., New York.
- UNPG – Union Nationale des Producteurs de Granulats - <http://www.unpg.fr/accueil/nos-activites/les-granulats-en-bref/>
- VALLE, M. M., **Caracterização das feições sedimentares da plataforma de Alagoas, com base em levantamento aerobatimétrico LiDAR**. / Marcio Martins Valle - 2018. 95 folhas, Il.
- VAN SCHMUS, W. R., KOZUCH, M., BRITO NEVES, B. B. **Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil: Insights from Sm–Nd and U–Pb geochronology**. Journal of South American Earth Sciences 31, 227- 252. 2011.
- VELOSO, J. F. - **Considerações sobre a Análise Granulométrica de Sedimentos Praiais** [Rio de Janeiro] 2001, XV, 107 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Oceânica, 2001).
- VENEU, D. M., YOKOYAMA, L., CUNHA, O. G. C., SCHNEIDER, C. L. e MONTE, M. B. M. - **Estudos de Equilíbrio na Sorção**

de Cr(III) por Granulados Bioclásticos. HOLOS, Ano 32, Vol. 7. 2016. 10.15628/holos.2016.5098.

WATANABE, T. T. N. **Seminário apresentado pelo aluno na disciplina BIOQUIMICA DO TECIDO ANIMAL**, no Programa

de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2010.

WILSON, J. L., **Carbonate facies in geologic history.** New York, Springer-Verlag, 1975. 471 p.

LISTAGEM DOS INFORMES DE RECURSOS MINERAIS

SÉRIE METAIS DO GRUPO DA PLATINA E ASSOCIADOS

- Nº 01 - Mapa de Caracterização das Áreas de Trabalho (Escala 1:7.000.000), 1996.
- Nº 02 - Mapa Geológico Preliminar da Serra do Colorado - Rondônia e Síntese Geológico-Metalogenética, 1997.
- Nº 03 - Mapa Geológico Preliminar da Serra Céu Azul - Rondônia, Prospecção Geoquímica e Síntese Geológico-Metalogenética, 1997.
- Nº 04 - Síntese Geológica e Prospecção por Concentrados de Bateia nos Complexos Canabrava e Barro Alto - Goiás, 1997.
- Nº 05 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Migrantinópolis - Rondônia, 2000.
- Nº 06 - Geologia e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Corumbiara/Chupinguaia - Rondônia, 2000.
- Nº 07 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Serra Azul - Rondônia, 2000.
- Nº 08 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Rio Branco/Alta Floresta - Rondônia, 2000.
- Nº 09 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Santa Luzia - Rondônia, 2000.
- Nº 10 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Nova Brasilândia - Rondônia, 2000.
- Nº 11 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica da Área Rio Madeirinha - Mato Grosso, 2000.
- Nº 12 - Síntese Geológica e Prospectiva das Áreas Pedra Preta e Cotingo - Roraima, 2000.
- Nº 13 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Santa Bárbara - Goiás, 2000.
- Nº 14 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Barra da Gameleira - Tocantins, 2000.
- Nº 15 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Córrego Seco - Goiás, 2000.
- Nº 16 - Síntese Geológica e Resultados Prospectivos da Área São Miguel do Guaporé - Rondônia, 2000.
- Nº 17 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Cana Brava - Goiás, 2000.
- Nº 18 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Cacoal - Rondônia, 2000.
- Nº 19 - Geologia e Resultados Prospectivos das Áreas Morro do Leme e Morro Sem Boné - Mato Grosso, 2000.
- Nº 20 - Geologia e Resultados Prospectivos das Áreas Serra dos Pacaás Novos e Rio Cautário - Rondônia, 2000.
- Nº 21 - Aspectos Geológicos, Geoquímicos e Potencialidade em Depósitos de Ni-Cu-EGP do Magmatismo da Baciado Paraná - 2000.
- Nº 22 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Tabuleta - Mato Grosso, 2000.
- Nº 23 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Rio Alegre - Mato Grosso, 2000.
- Nº 24 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Figueira Branca/Indiavaí - Mato Grosso, 2000.
- Nº 25 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar das Áreas Jaburu, Caracaraí, Alto Tacutu e Amajari - Roraima, 2000.
- Nº 26 - Prospecção Geológica e Geoquímica no Corpo Máfico-Ultramáfico da Serra da Onça - Pará, 2001.
- Nº 27 - Prospecção Geológica e Geoquímica nos Corpos Máfico-Ultramáficos da Suíte Intrusiva Cateté - Pará, 2001.
- Nº 28 - Aspectos geológicos, Geoquímicos e Metalogenéticos do Magmatismo Básico/Ultrabásico do Estado de Rondônia e Área Adjacente, 2001.
- Nº 29 - Geological, Geochemical and Potentiality Aspects of Ni-Cu-PGE Deposits of the Paraná Basin Magmatism, 2001.
- Nº 30 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica da Área Barro Alto – Goiás, 2010.

SÉRIE MAPAS TEMÁTICOS DE OURO - ESCALA 1:250.000

- Nº 01 - Área GO-09 Aurilândia/Anicuns - Goiás, 1995.
- Nº 02 - Área RS-01 Lavras do Sul/Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul, 1995.
- Nº 03 - Área RO-01 Presidente Médici - Rondônia, 1996.
- Nº 04 - Área SP-01 Vale do Ribeira - São Paulo, 1996.
- Nº 05 - Área PA-15 Inajá - Pará, 1996.
- Nº 06 - Área GO-05 Luziânia - Goiás, 1997.
- Nº 07 - Área PA-01 Paru - Pará, 1997.
- Nº 08 - Área AP-05 Serra do Navio/Cupixi - Amapá, 1997.
- Nº 09 - Área BA-15 Caripará - Bahia, 1997.
- Nº 10 - Área GO-01 Crixás/Pilar - Goiás, 1997.



- Nº 11 - Área GO-02 Porangatu/Mara Rosa - Goiás, 1997
- Nº 12 - Área GO-03 Niquelândia - Goiás, 1997.
- Nº 13 - Área MT-01 Peixoto de Azevedo/Vila Guarita - Mato Grosso, 1997.
- Nº 14 - Área MT-06 Ilha 24 de Maio - Mato Grosso, 1997.
- Nº 15 - Área MT-08 São João da Barra - Mato Grosso/Pará, 1997.
- Nº 16 - Área RO-02 Jenipapo/Serra Sem Calça - Rondônia, 1997.
- Nº 17 - Área RO-06 Guaporé/Madeira - Rondônia, 1997.
- Nº 18 - Área RO-07 Rio Madeira - Rondônia, 1997.
- Nº 19 - Área RR-01 Uraricaá - Roraima, 1997.
- Nº 20 - Área AP-03 Alto Jari - Amapá/Pará, 1997.
- Nº 21 - Área CE-02 Várzea Alegre/Lavras da Mangabeira/Encanto - Ceará, 1997.
- Nº 22 - Área GO-08 Arenópolis/Amorinópolis - Goiás, 1997.
- Nº 23 - Área PA-07 Serra Pelada - Pará, 1997.
- Nº 24 - Área SC-01 Botuverá/Brusque/Gaspar - Santa Catarina, 1997.
- Nº 25 - Área AP-01 Cassiporé - Amapá, 1997.
- Nº 26 - Área BA-04 Jacobina Sul - Bahia, 1997.
- Nº 27 - Área PA-03 Cuiapucu/Carará - Pará/Amapá, 1997.
- Nº 28 - Área PA-10 Serra dos Carajás - Pará, 1997.
- Nº 29 - Área AP-04 Tumucumaque - Pará, 1997.
- Nº 30 - Área PA-11 Xinguara - Pará, 1997.
- Nº 31 - Área PB-01 Cachoeira de Minas/Itajubatiba/Itapetim - Paraíba/Pernambuco, 1997.
- Nº 32 - Área AP-02 Tartarugalzinho - Amapá, 1997.
- Nº 33 - Área AP-06 Vila Nova/Iratapuru - Amapá, 1997.
- Nº 34 - Área PA-02 Ipitinga - Pará/Amapá, 1997.
- Nº 35 - Área PA-17 Caracol - Pará, 1997.
- Nº 36 - Área PA-18 Vila Riozinho - Pará, 1997.
- Nº 37 - Área PA-19 Rio Novo - Pará, 1997.
- Nº 38 - Área PA-08 São Félix - Pará, 1997.
- Nº 39 - Área PA-21 Marupá - Pará, 1998.
- Nº 40 - Área PA-04 Três Palmeiras/Volta Grande - Pará, 1998.
- Nº 41 - Área TO-01 Almas/Natividade - Tocantins, 1998.
- Nº 42 - Área RN-01 São Fernando/Ponta da Serra/São Francisco - Rio Grande do Norte/Paraíba, 1998.
- Nº 43 - Área GO-06 Cavalcante - Goiás/Tocantins, 1998.
- Nº 44 - Área MT-02 Alta Floresta - Mato Grosso/Pará, 1998.
- Nº 45 - Área MT-03 Serra de São Vicente - Mato Grosso, 1998.
- Nº 46 - Área AM-04 Rio Traíra - Amazonas, 1998.
- Nº 47 - Área GO-10 Pirenópolis/Jaraguá - Goiás, 1998.
- Nº 48 - Área CE-01 Reriutaba/Ipu - Ceará, 1998.
- Nº 49 - Área PA-06 Manelão - Pará, 1998.
- Nº 50 - Área PA-20 Jacareacanga - Pará/Amazonas, 1998.
- Nº 51 - Área MG-07 Paracatu - Minas Gerais, 1998.
- Nº 52 - Área RO-05 Colorado - Rondônia/Mato Grosso, 1998.
- Nº 53 - Área TO-02 Brejinho de Nazaré - Tocantins, 1998.
- Nº 54 - Área RO-04 Porto Esperança - Rondônia, 1998.
- Nº 55 - Área RO-03 Parecis - Rondônia, 1998.
- Nº 56 - Área RR-03 Uraricoera - Roraima, 1998.
- Nº 57 - Área GO-04 Goiás - Goiás, 1998.
- Nº 58 - Área MA-01 Belt do Gurupi - Maranhão/Pará, 1998.
- Nº 59 - Área MA-02 Aurizona/Carutapera - Maranhão/Pará, 1998.
- Nº 60 - Área PE-01 Serrita - Pernambuco, 1998.
- Nº 61 - Área PR-01 Curitiba/Morretes - Paraná, 1998.
- Nº 62 - Área MG-01 Pitangui - Minas Gerais, 1998.
- Nº 63 - Área PA-12 Rio Fresco - Pará, 1998.



- Nº 64 - Área PA-13 Madalena - Pará, 1998.
Nº 65 - Área AM-01 Parauari - Amazonas/Pará, 1999.
Nº 66 - Área BA-01 Itapicuru Norte - Bahia, 1999.
Nº 67 - Área RR-04 Quino Maú - Roraima, 1999.
Nº 68 - Área RR-05 Apiaú - Roraima, 1999.
Nº 69 - Área AM 05 Gavião/Dez Dias - Amazonas, 1999.
Nº 70 - Área MT-07 Araés/Nova Xavantina - Mato Grosso, 2000.
Nº 71 - Área AM-02 Cauaburi - Amazonas, 2000.
Nº 72 - Área RR-02 Mucajaí - Roraima, 2000.
Nº 73 - Área RR-06 Rio Amajari - Roraima, 2000.
Nº 74 - Área BA-03 Jacobina Norte - Bahia, 2000.
Nº 75 - Área MG-04 Serro - Minas Gerais, 2000.
Nº 76 - Área BA-02 Itapicuru Sul - Bahia, 2000.
Nº 77 - Área MG-03 Conselheiro Lafaiete - Minas Gerais, 2000.
Nº 78 - Área MG-05 Itabira - Minas Gerais, 2000.
Nº 79 - Área MG-09 Riacho dos Machados - Minas Gerais, 2000.
Nº 80 - Área BA-14 Correntina - Bahia, 2000.
Nº 81 - Área BA-12 Boquira Sul - Bahia, 2000
Nº 82 - Área BA-13 Gentio do Ouro - Bahia, 2000.
Nº 83 - Área BA-08 Rio de Contas/Ibitiara Sul - Bahia, 2000.
Nº 84 - Área MT-05 Cuiabá/Poconé - Mato Grosso, 2000.
Nº 85 - Área MT-04 Jauru/Barra dos Bugres - Mato Grosso, 2000.

SÉRIE OURO - INFORMES GERAIS

- Nº 01 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1996.
Nº 02 - Programa Nacional de Prospecção de Ouro - Natureza e Métodos, 1998.
Nº 03 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1998.
Nº 04 - Gold Prospecting National Program - Subject and Methodology, 1998.
Nº 05 - Mineralizações Auríferas da Região de Cachoeira de Minas – Municípios de Manairá e Princesa Isabel - Paraíba, 1998.
Nº 06 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 2000.
Nº 07 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Minas do Camaquã - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 08 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Ibaré – Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 09 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 10 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Passo do Salsinho - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 11 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Marmeleiro - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 12 - Map of Gold Production and Reserves of Brazil (1:7.000.000 Scale), 2000
Nº 13 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Cambaizinho - Rio Grande do Sul, 2001.
Nº 14 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Passo do Ivo - Rio Grande do Sul, 2001.
Nº 15 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Batovi – Rio Grande do Sul, 2001.
Nº 16 - Projeto Metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires, Mato Grosso – Goiânia, 2008.
Nº 17 - Metalogenia do Distrito Aurífero do Rio Juma, Nova Aripuanã, Manaus, 2010.

SÉRIE INSUMOS MINERAIS PARA AGRICULTURA

- Nº 01 - Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1997.
-



- Nº 02 - Fosfato da Serra da Bodoquena - Mato Grosso do Sul, 2000.
- Nº 03 - Estudo do Mercado de Calcário para Fins Agrícolas no Estado de Pernambuco, 2000.
- Nº 04 - Mapa de Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.
- Nº 05 - Estudo dos Níveis de Necessidade de Calcário nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.
- Nº 06 - Síntese das Necessidades de Calcário para os Solos dos Estados da Bahia e Sergipe, 2001.
- Nº 07 - Mapa de Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais de Rondônia, 2001.
- Nº 08 - Mapas de Insumos Minerais para Agricultura nos Estados de Amazonas e Roraima, 2001.
- Nº 09 - Mapa-Síntese de Jazimentos Minerais Carbonatados dos Estados da Bahia e Sergipe, 2001.
- Nº 10 - Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados do Pará e Amapá, 2001.
- Nº 11 - Síntese dos Jazimentos, Áreas Potenciais e Mercado de Insumos Minerais para Agricultura no Estado da Bahia, 2001.
- Nº 12 - Avaliação de Rochas Calcárias e Fosfatadas para Insumos Agrícolas do Estado de Mato Grosso, 2008.
- Nº 13 - Projeto Fosfato Brasil – Parte I, Salvador, 2011.
- Nº 14 - Projeto Fosfato Brasil – Estado de Mato Grosso – Áreas Araras/Serra do Caeté e Planalto da Serra, 2011.
- Nº 15 - Projeto Mineralizações Associadas à Plataforma Bambuí no Sudeste do Estado do Tocantins (TO) – Goiânia, 2016.
- Nº 16 – Rochas Carbonáticas do Estado de Rondônia, Porto Velho, 2015.
- Nº 17 – Projeto Fosfato Brasil – Parte II, Salvador, 2016.
- Nº 18 – Geoquímica Orientativa para Pesquisa de Fosfato no Brasil, Salvador, 2016.
- Nº 19 – Projeto Agrominerais da Região de Irecê -Jaguarari, Salvador, 2016.
- Nº 20 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III - Bacia dos Parecis, Porto Velho, 2017.
- Nº 21 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III: Bacia Sergipe-Alagoas, Sub-bacia Sergipe, Recife, 2017.
- Nº 22 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III: Centro-leste de Santa Catarina, Salvador, 2018.
- Nº 23 – Avaliação do Potencial do Potássio no Brasil: Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, Estados do Amazonas e Pará, Manaus, 2020.
- Nº 24 – Investigação de Anomalias Geofísicas no Escudo Sul-Rio-Grandense com Enfoque em Insumos Agrícolas, Porto Alegre, 2020.
- Nº 25 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil: Borda Norte da Bacia do Amazonas, região de Monte Alegre e Monte Dourado, Estado do Pará, Belém, 2020.
- Nº 26 – Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil: Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021
- Nº 27 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil: Bacia Potiguar – Um estudo a partir de testemunhos de sondagem, Estado do Rio Grande do Norte, Salvador, 2021

SÉRIE PEDRAS PRECIOSAS

- Nº 01 - Mapa Gemológico da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, 1997.
- Nº 02 - Mapa Gemológico da Região Lajeado/Soledade/Salto do Jacuí - Rio Grande do Sul, 1998
- Nº 03 - Mapa Gemológico da Região de Ametista do Sul - Rio Grande do Sul, 1998.
- Nº 04 - Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão, 1998.
- Nº 05 - Mapa Gemológico do Estado do Rio Grande do Sul, 2000.
- Nº 06 - Mapa Gemológico do Estado de Santa Catarina, 2000.
- Nº 07 - Aspectos da Geologia dos Pólos Diamantíferos de Rondônia e Mato Grosso – O Fórum de Juína – Projeto Diamante, Goiânia, 2010.
- Nº 08 - Projeto Avaliação dos Depósitos de Opalas de Pedro II – Estado do Piauí, Teresina, 2015.
- Nº 09 - Aluviões Diamantíferos da Foz dos Rios Jequitinhonha e Pardo - Fase I – Estado da Bahia, Salvador, 2016.
- Nº 10 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado de Minas Gerais, Brasília, 2017
- Nº 11 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado de Rondônia, Brasília, 2017
- Nº 12 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado do Mato Grosso, Brasília, 2017
- Nº 13 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado da Bahia, Brasília, 2017



SÉRIE OPORTUNIDADES MINERAIS – EXAME ATUALIZADO DE PROJETO

- Nº 01 - Níquel de Santa Fé - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 02 - Níquel do Morro do Engenho - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 03 - Cobre de Bom Jardim - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 04 - Ouro no Vale do Ribeira - Estado de São Paulo, 1996.
- Nº 05 - Chumbo de Nova Redenção - Estado da Bahia, 2001.
- Nº 06 - Turfa de Caçapava - Estado de São Paulo, 1996.
- Nº 08 - Ouro de Natividade - Estado do Tocantins, 2000.
- Nº 09 - Gipsita do Rio Cupari - Estado do Pará, 2001.
- Nº 10 - Zinco, Chumbo e Cobre de Palmeirópolis - Estado de Tocantins, 2000.
- Nº 11 - Fosfato de Miriri - Estados de Pernambuco e Paraíba, 2001.
- Nº 12 - Turfa da Região de Itapuã - Estado do Rio Grande do Sul, 1998.
- Nº 13 - Turfa de Águas Claras - Estado do Rio Grande do Sul, 1998.
- Nº 14 - Turfa nos Estados de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.
- Nº 15 - Nióbio de Uaupés - Estado do Amazonas, 1997.
- Nº 16 - Diamante do Rio Maú - Estado da Roraima, 1997.
- Nº 18 - Turfa de Santo Amaro das Brotas - Estado de Sergipe, 1997.
- Nº 19 - Diamante de Santo Inácio - Estado da Bahia, 2001.
- Nº 21 - Carvão nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 1997.
- Nº 22 - Coal in the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, 1999.
- Nº 23 - Kaolin Exploration in the Capim River Region - State of Pará - Executive Summary, 2000.
- Nº 24 - Turfa de São José dos Campos - Estado de São Paulo, 2002.
- Nº 25 - Lead in Nova Redenção - Bahia State, Brazil, 2001.
- Nº 26 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Polimetálicos de Palmeirópolis, Estado do Tocantins, Brasília, 2020.
- Nº 27 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Carvão Sul Catarinense, Estado de Santa Catarina, Brasília, 2021.
- Nº 28 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Fosfato de Miriri, Estado de Pernambuco e Paraíba, Brasília, 2022.
- Nº 29 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Carvão Iruí-Butiá, Estado do Rio Grande do Sul, Brasília, 2021.
- Nº 30 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Caulim do Rio Capim, Estado do Pará, Brasília, 2021.
- Nº 31 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Gipsita do Rio Cupari, Estado do Pará, Brasília, 2022.

SÉRIE DIVERSOS

- Nº 01 - Informe de Recursos Minerais - Diretrizes e Especificações - Rio de Janeiro, 1997.
- Nº 02 - Argilas Nobres e Zeolitas na Bacia do Parnaíba - Belém, 1997.
- Nº 03 - Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Belém do São Francisco - Escala 1:250.000 - Recife, 2000.
- Nº 04 - Substâncias Minerais para Construção Civil na Região Metropolitana de Salvador e Adjacências - Salvador, 2001.
- Nº 05 – Terras Indígenas do Noroeste do Amazonas: Geologia, Geoquímica e Cadastramento Mineral na região do Tunuí-Caparro, Estado do Amazonas, Manaus, 2020

SÉRIE RECURSOS MINERAIS MARINHOS

- Nº 01 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Leste do Ceará, Recife, 2007.
- Nº 02 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental do Rio Grande do Norte: setor Touros, Recife, 2020.
- Nº 03 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Rasa de Pernambuco, Recife, 2020.
- Nº 04 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Oeste do Ceará: setor Bitupitá, Recife, 2022.
- Nº 05 – Projeto Prospecção e Exploração de Depósitos de Fosforitas Marinhas na Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REEMPLAC), Rio de Janeiro, 2021.



Nº 06 – Prospecção e Exploração de Sulfetos Polimetálicos Maciços na Cordilheira Mesoatlântica Equatorial, Rio de Janeiro, 2021.

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Nº 01 – Projeto Materiais de Construção na Área Manacapuru-Iranduba-Manaus-Careiro (Domínio Baixo Solimões) – Manaus, 2007.

Nº 02 – Materiais de Construção Civil na região Metropolitana de Salvador – Salvador, 2008.

Nº 03 – Projeto Materiais de Construção no Domínio Médio Amazonas – Manaus, 2008.

Nº 04 – Projeto Rochas Ornamentais de Roraima – Manaus, 2009.

Nº 05 – Projeto Argilas da Bacia Pimenta Bueno – Porto Velho, 2010.

Nº 06 – Projeto Quartzo Industrial Dueré-Cristalândia – Goiânia, 2010.

Nº 07 – Materiais de Construção Civil na região Metropolitana de Aracaju – Salvador, 2011.

Nº 08 – Rochas Ornamentais no Noroeste do Estado do Espírito Santo – Rio de Janeiro, 2012.

Nº 09 – Projeto Insumos Minerais para a Construção Civil na Região Metropolitana do Recife – Recife, 2012.

Nº 10 – Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho – Porto Velho, 2013.

Nº 11 – Polo Cerâmico de Santa Gertrudes – São Paulo, 2014.

Nº 12 – Projeto Materiais de Construção Civil na Região Metropolitana de Natal – Natal, 2015.

Nº 13 – Materiais de Construção Civil para Vitória da Conquista, Itabuna-Ilhéus e Feira de Santana – Salvador, 2015.

Nº 14 – Projeto Materiais de Construção da Região de Marabá e Eldorado dos Carajás – Belém, 2015.

Nº 15 – Panorama do Setor de Rochas Ornamentais do Estado de Rondônia – Porto Velho, 2015

Nº 16 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Goiânia – Goiânia, 2015

Nº 17 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Porto Alegre – Porto Alegre, 2016

Nº 18 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Fortaleza – Fortaleza, 2016

Nº 19 – Projeto Materiais de Construção Civil da Região da Grande Florianópolis – Porto Alegre, 2016

Nº 20 – Projeto materiais de construção da região de Macapá - Estado do Amapá – Belém, 2016.

Nº 21 – Projeto Materiais De Construção da Região Metropolitana de Curitiba - Estado do Paraná, 2016.

Nº 22 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de São Luís e Entorno - Estado do Maranhão, 2017.

Nº 23 – Panorama do Segmento de Rochas Ornamentais do Estado da Bahia, Salvador, 2019

Nº 24 – Materiais de Construção da Região Metropolitana de São Paulo - Estado de São Paulo, São Paulo, 2019.

Nº 25 – Gipsita no sudoeste da Bacia sedimentar do Araripe - Estado de Pernambuco, Recife, 2019.

Nº 26 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Belo Horizonte - Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

Nº 27 – Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Norte: Mapa de Potencialidades, Natal, 2020.

Nº 28 – Materiais de Construção da Região Metropolitana de Palmas - Estado do Tocantins, Goiânia, 2020.

Nº 29 – Estudos dos granitoides da região Nordeste do Pará para produção de brita, Belém, 2020.

Nº 30 – Materiais de Construção da Região de Capitão Poço-Ourém - Estado do Pará, Belém, 2020.

Nº 31 - Calcários da Bahia: Faixas Rio Pardo e Ouroândia-Campo Formoso, Salvador, 2021

Nº 32 – Rochas Ornamentais do Espírito Santo: Mapa de Potencialidade, Belo Horizonte, 2021

Nº 33 - Argilas dos vales dos rios Doce e Jequitinhonha (MG), Belo Horizonte, 2021

Nº 34 - Materiais de Construção Civil da Região Rio Grande-Pelotas e entorno (RS), Porto Alegre, 2021

Nº 35 - Materiais de Construção Civil da Região Metropolitana de João Pessoa (PB), Recife, 2021

SÉRIE METAIS - INFORMES GERAIS

Nº 01 – Projeto BANEO – Bacia do Camaquã – Metalogenia das Bacias Neoproterozóico-eopaleozóicas do Sul do Brasil, Porto Alegre, 2008

Nº 02 – Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno – MG, Rio de Janeiro, 2014.

Nº 03 – Projeto BANEO – Bacias do Itajaí, de Campo Alegre e Corupá – Metalogenia das Bacias Neoproterozoico-eopaleozoicas do Sul do Brasil, Porto Alegre, 2015

SÉRIE PROVÍNCIAS MINERAIS DO BRASIL

Nº 01 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - ARIM, Brasília, 2015



- Nº 02 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Tróia-Pedra Branca, Estado do Ceará, Fortaleza, 2015
- Nº 03 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Sudeste do Tapajós, Estado do Pará, Brasília, 2015.
- Nº 04 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Província Aurífera Juruena-Teles Pires-Aripuanã – Geologia e Recursos Minerais da Folha Ilha Porto Escondido – SC.21-V-C-III, Brasília, 2015.
- Nº 05 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Distrito Zincífero de Vazante – MG, Brasília, 2015.
- Nº 06 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Rochas Alcalinas da Porção Meridional do Cinturão Ribeira. Estados de São Paulo e Paraná, Brasília, 2015.
- Nº 07 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Sudeste de Rondônia, Brasília, 2016.
- Nº 08 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Seridó-Leste, extremo nordeste da Província Borborema (RN-PB), Brasília, 2016.
- Nº 09 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Porção sul da Bacia do Paraná, RS, 2017
- Nº 10 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Eldorado do Juma, Estado do Amazonas, AM, 2019
- Nº 11 – Áreas de Relevante Interesse Mineral: Cinturão Gurupi, Estados do Pará e Maranhão, Brasília, 2017.
- Nº 12 – Áreas de relevante interesse mineral: Reserva Nacional do Cobre e Associados, Estados do Pará e Amapá, Belém, 2017.
- Nº 13 – Áreas de Relevante Interesse Mineral – Vale do Ribeira: Mineralizações Polimetálicas (Pb, Ag, Zn, Cu e Au – “Tipo Painéis”) em zonas de cisalhamento Rúptil, Cinturão Ribeira Meridional, SP-PR, São Paulo, 2017.
- Nº 14 – Área de Relevante Interesse Mineral - ARIM: Distrito Mineral de Paracatu-Unai (Zn-Pb-Cu), MG, 2018
- Nº 15 – Área de Relevante Interesse Mineral Integração Geológica-Geofísica e Recursos Minerais do Cráton Luis Alves, RS, 2018.
- Nº 16 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Província Mineral de Carajás, PA: Estratigrafia e análise do Minério de Mn de Carajás - áreas Azul, Sereno, Buritirama e Antônio Vicente, PA, 2018.
- Nº 17 – Áreas de Relevante Interesse Mineral Troia-Pedra Branca - Geologia e mineralização aurífera da sequência metavulcanossedimentar da Serra das Pipocas, Maciço de Troia, Ceará, Estado do Ceará, CE, 2018
- Nº 18 – Áreas de Relevante Interesse Mineral – Reavaliação da Província Estanífera de Rondônia, RO, 2019.
- Nº 19 – Áreas de relevante interesse mineral – Evolução Crustal e Metalogenia da Faixa Nova Brasilândia, RO, 2019.
- Nº 20 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Batólito Pelotas–Terreno Tijucas, Estado do Rio Grande do Sul, RS, 2019.
- Nº 21 – Áreas de Relevante Interesse Mineral – Vale do Ribeira: mineralizações polimetálicas (Pb-Zn-Ag-Cu-Ba) associadas a Formação Perau, Cinturão Ribeira Meridional, Estado do Paraná, São Paulo, 2019.
- Nº 22 – Áreas de relevante interesse mineral – Evolução crustal e metalogenia da Província Mineral Juruena–Teles-Pires, MT, Goiânia, 2019.
- Nº 23 – Áreas de relevante interesse mineral – Projeto evolução crustal e metalogenia da Faixa Brasília setor centro-norte, GO-TO, Goiânia, 2019
- Nº 24 – Avaliação do Potencial Mineral do NW do Ceará, CE, Fortaleza, 2019.
- Nº 25 – Avaliação do Potencial Mineral das faixas Marginais da borda NW do Craton do São Francisco (Área Riacho do Pontal), PI, Teresina, 2019.
- Nº 26 – Avaliação do Potencial Mineral das faixas Marginais da borda NW do Craton do São Francisco (Área Rio Preto), PI, Teresina, 2019.
- Nº 27 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Avaliação do Potencial Mineral do Vale do Ribeira (Área Castro), SP, São Paulo, 2019.
- Nº 28 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Evolução crustal e Metalogenia da região de Aripuanã, MT, Goiânia, 2020.
- Nº 29 – Modelo Prospectivo para Ametista e Ágata na Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul, RS, Porto Alegre, 2020.
- Nº 30 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Reavaliação das sequências metavulcanossedimentares a Sudoeste do Quadrilátero Ferrífero – Área de Nazareno, Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- Nº 31 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Integração Geológica e Avaliação do Potencial Metalogenético da Serra de Jacobina e dos Greenstone Belt Mundo Novo, Estado da Bahia, Salvador, 2021
- Nº 32 – Áreas de Relevante Interesse Mineral – Integração Geológica e Avaliação do Potencial Metalogenético das Sequências Metavulcanossedimentares tipo Greenstone Belts e/ou similares da região de Remanso-Sobradinho, Estado da Bahia, Salvador, 2021



Nº 33 - Áreas de Relevante Interesse Mineral –Província Mineral de Carajás, Controles Críticos das Mineralizações de Cobre e Ouro do Lineamento Cinzento, Estado do Pará, Belém, 2021

Nº 34 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Evolução Crustal e Metalogenia do Sudeste do Amazonas, Estado do Amazonas, Manaus, 2021

SÉRIE MINERAIS ESTRATÉGICOS

Nº 01 – Diretrizes para Avaliação do Potencial do Potássio, Fosfato, Terras Raras e Lítio no Brasil, Brasília, 2015.

Nº 02 – Avaliação do Potencial de Terras Raras no Brasil, Brasília, 2015.

Nº 03 – Projeto Avaliação do Potencial do Lítio no Brasil – Área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais, Brasília, 2016.

Nº 04 – Projeto Avaliação do Potencial de Terras Raras No Brasil - Área Morro dos Seis Lagos, Noroeste do Amazonas, Brasília, 2019.

Nº 05 – Projeto Avaliação do Potencial da Grafita no Brasil – Fase I, São Paulo, 2020.

SÉRIE GEOQUÍMICA PROSPECTIVA

Nº 01 – Informe Geoquímico Bacia do Araripe, Estados de Pernambuco, Piauí e Ceará, Recife, 2018.

Nº 02 – Informe Geoquímico das Folhas Quixadá-Itapiúna, Estado do Ceará, Fortaleza, 2020.

Nº 03 – Informe Geoquímico São José do Campestre, Província Borborema, Estado do Rio Grande do Norte, Recife, 2021.

SÉRIE MAPEAMENTO GEOQUÍMICO

Nº 01 – Levantamento Geoquímico do Escudo do Rio Grande do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SÉRIE ATLAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Atlas de Rochas Ornamentais de Roraima, Manaus, 2009

Atlas de Rochas Ornamentais da Amazônia Brasileira, São Paulo, 2011

Atlas de Rochas Ornamentais do Espírito Santo, Brasília, 2013

Atlas of Dimension Stones of the Espírito Santo state, Brasília, 2015

Atlas de Rochas ornamentais dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, Recife, 2017

Atlas de Rochas ornamentais da Bahia, Salvador, 2022



O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AValiação DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



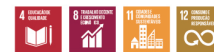
RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA



ISBN:

978-65-5664-234-5

PROGRAMA OCEANOS, ZONA COSTEIRA E ANTÁRTICA

INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Recursos Minerais Marinhos, nº 04

Levantamento Geológico, Oceanográfico e Ambiental do Potencial Mineral do Espaço Marinho e Costeiro

POTENCIALIDADE DOS GRANULADOS MARINHOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL OESTE DO CEARÁ – SETOR BITUPITÁ

O produto Informe de Recursos Minerais Marinhos, parte integrante do Programa Oceanos, Zona Costeira e Antártica, objetiva sistematizar e divulgar os resultados das atividades e projetos desenvolvidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM nas áreas de geofísica marinha, geoquímica, geologia, sedimentologia, oceanografia física e química. O foco é dirigido ao campo da geologia econômica, prospecção, meio ambiente, pesquisa e economia mineral.

Cada exemplar da Série de Recursos Minerais Marinhos apresenta os resultados da abordagem temática, relacionada à potencialidade estratégica dos bens minerais da Plataforma Continental Jurídica do Brasil, na perspectiva de promover o interesse da indústria de mineração para novos alvos de investimento no país, em compatibilidade com o equilíbrio ambiental. São apresentados sob a forma de estudos, artigos, relatórios e mapas.

Neste quarto volume da série são discutidos os os granulados marinhos do mar adjacente de parte do Oeste do Ceará. Eles podem ser classificados como siliciclastos, quando a composição é predominantemente silicosa e como bioclastos, quando sua composição é predominantemente carbonatada.

Os dados levantados foram integrados neste Informe Mineral e em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, bases de dados e mapas temáticos, vinculados ao banco de dados corporativo da CPRM, o GeoSGB, e disponíveis para *download* no portal www.cprm.gov.br.

Sede

Setor Bancário Norte - SBN - Quadra 02, Asa Norte
Bloco H - 5º andar - Edifício Central Brasília
Brasília - DF - CEP: 70040-904
Tel: 61 2108-8400

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - Cep: 22290-255
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tel: 21 2546-0212 - 61 3223-1166

Departamento de Geologia

Tel: 91 31821326

Departamento de Recursos Minerais

Tel: 21 2295-4992

Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Tel: 21 2295-5837 - 61 2108-8457

Residência de Fortaleza

Avenida Antônio Sales, 1418 - Joaquim Távora
Fortaleza - CE - CEP: 60135-1011
Tel.: 85 3878-0235

Assessoria de Comunicação

Tel: 61 2108-8468
E-mail: asscomdf@cprm.gov.br

Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0333
E-mail: marketing@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2541-6344
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Tel: 21 2295-5997
E-mail: seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

