

PLATAFORMA **CONTINENTAL**

a última fronteira da mineração brasileira





PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Presidente
DILMA VANA ROUSSEFF



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
Ministro de Estado
EDISON LOBÃO

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
Secretário
CLAUDIO SCLiar



Departamento Nacional de Produção Mineral

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
Diretor-Geral
MIGUEL ANTONIO CEDRAZ NERY

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DA MINERAÇÃO
Diretor
JOÃO CÉSAR DE FREITAS PINHEIRO

COORDENAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DA MINERAÇÃO
Coordenador
KIOMAR OGUINO

DIVISÃO DE GEOLOGIA E DISTRITOS MINEIROS
Chefe
DAVID SIQUEIRA FONSECA

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DA MINERAÇÃO
PROGRAMA AVALIAÇÃO DE DISTRITOS MINEIROS

PLATAFORMA **CONTINENTAL**

a última fronteira da mineração brasileira

Vanessa Maria Mamede Cavalcanti

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM
SAN Quadra 01 Bloco B - 70041-903 - Brasília - DF
www.dnpm.gov.br

FONTES DAS FOTOS DA CAPA:

Algarea Mineração (2005);
CPRM (2009);
Freire & Cavalcanti (1998);
Hein (2006);
Zenith Marítima (2005).

<http://www.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Sulfures>; <http://www.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Nodules-polymetalliques>;

<http://www.eurooscar.com/IMAGENS-SUBMARINAS/fotografias-submarinas-49.htm>

<http://www.eurooscar.com/IMAGENS-SUBMARINAS/fotografias-submarinas-52.htm>

<http://naviosbrasileiros.com.br>

PROGRAMAÇÃO VISUAL:

Sérgio Linhares

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP)

C376p Cavalcanti, Vanessa Maria Mamede
Plataforma continental : a última fronteira da mineração brasileira / Vanessa
Maria Mamede Cavalcanti. – Brasília: DNPM, 2011.
104 p. : il.

ISBN

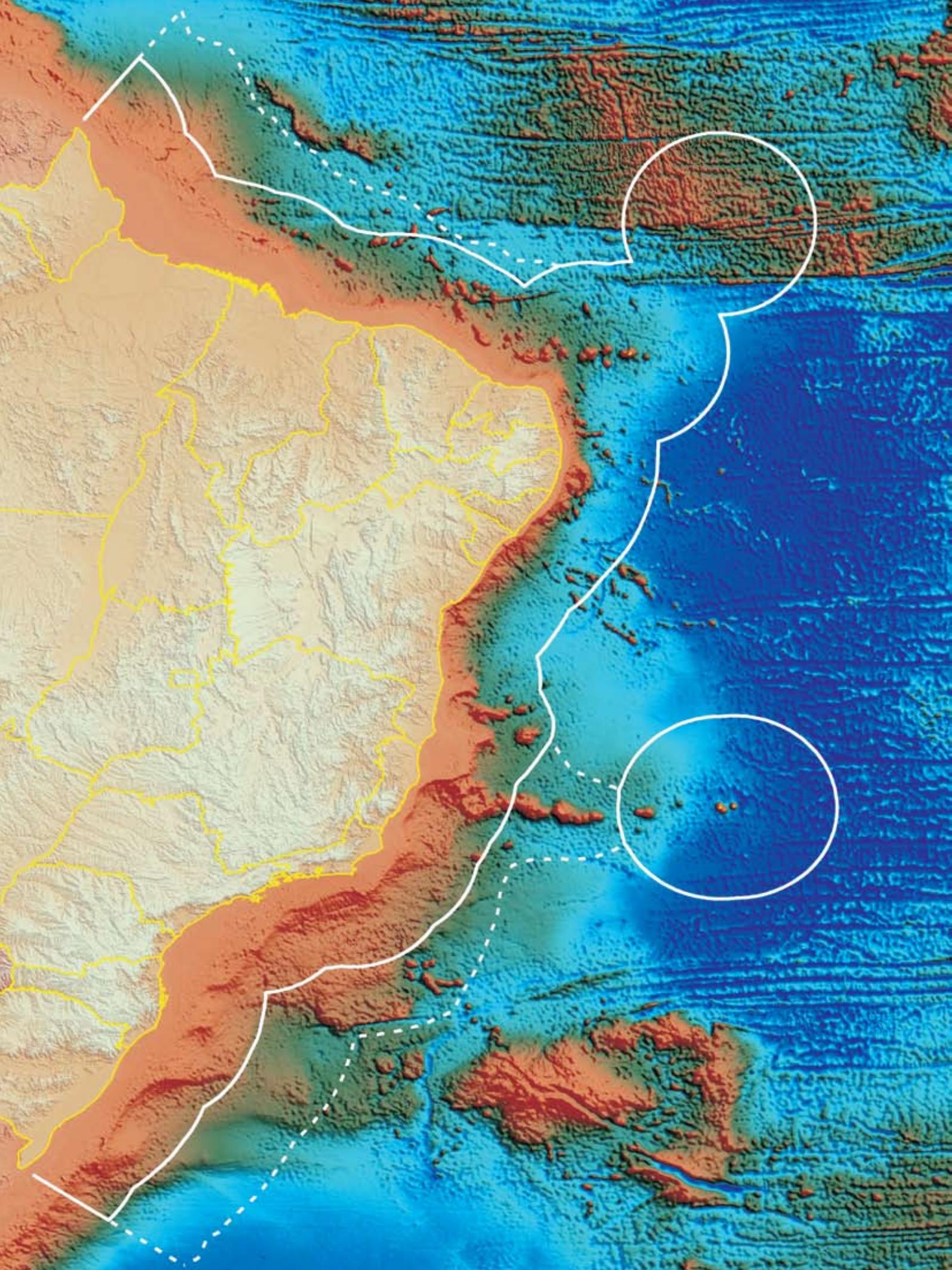
1. Recursos minerais marinhos 2. Mineração marinha
I. Título II. Autor.

CDD 551.4608

“

A todos aqueles que amam o mar, mas acreditam que ele pode ser explorado de forma sustentável, pois não adianta ter milhares de milhas de reservas intocadas e mais da metade da população mundial abaixo da linha de pobreza.

”



APRESENTAÇÃO

Os limites da fronteira da exploração mineral tem se expandido cada vez mais. Em alguns países, a exploração da plataforma continental já é uma realidade há tempos, como na França, onde se explora o *lithothamium*, sedimento marinho que possui diversas aplicações na indústria. Além desse, são conhecidos também recursos de sais de potássio, manganês, cobalto, fosforitas, depósitos de pláceres, entre tantos outros, cujos usos são os mais variados possíveis.

No Brasil, que possui uma das maiores plataformas continentais do mundo, diversas empresas tem se interessado por esses recursos, fato esse comprovado pelo aumento significativo de áreas oneradas nos últimos anos, tema esse incluído nessa publicação. No final de 2010 foram outorgadas seis portarias de lavra na plataforma continental do estado do Maranhão para explorar calcário marinho.

Além das empresas, diversos órgãos, institutos de pesquisas, centros tecnológicos, e pesquisadores em geral têm trabalhado com a questão dos recursos da Plataforma Continental Brasileira, principalmente no sentido de mostrar a importância desta para o país. O DNPM tem marcado presença em todos os fóruns de discussão dentro e fora do Governo Federal através de especialistas oriundos de seu quadro técnico, que ora nos disponibilizam o seu conhecimento e experiência sobre o tema.

Com esta publicação esperamos que o DNPM contribua novamente de forma positiva para o aproveitamento das potencialidades que se abrem, além de fomentar o debate sobre essa nova fronteira de recursos minerais, cumprindo assim seu papel de gerir o patrimônio mineral brasileiro de forma social, ambiental e economicamente sustentável.

MIGUEL ANTONIO CEDRAZ NERY
Diretor-Geral do DNPM

JOÃO CESAR DE FREITAS PINHEIRO
Diretor de Planejamento e Desenvolvimento da Mineração



SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	11
2 - O ESPAÇO MARINHO BRASILEIRO E AS ÁREAS DE JURISDIÇÃO INTERNACIONAL	15
2.1 – O Mar Territorial e a Zona Contígua.....	15
2.2 – A Zona Econômica Exclusiva	16
2.3 - A Plataforma Continental.....	16
2.4 – O Alto Mar.....	17
2.5 - A Área Internacional dos Fundos Marinhos – Área	18
3 – RECURSOS MINERAIS MARINHOS	19
3.1 – Recursos Minerais de Aproveitamento Imediato	19
3.1.1 – Granulados siliciclásticos	19
3.1.2 – Granulados Carbonáticos	23
3.1.3 – Depósitos de Pláceres (<i>placers</i>).....	35
3.1.4 – Fosforita.....	40
3.1.5 – Sais (evaporitos)	42
3.1.6 – Enxofre.....	44
3.1.7 – Carvão.....	44
3.2 – Recursos Minerais de Aproveitamento Futuro	45
3.2.1 – Hidratos de Gás.....	45
3.2.2 - Nódulos polimetálicos	47
3.2.3 - Crostas ferromanganesíferas	49
3.2.4 - Sulfetos polimetálicos	50
4 – ASPECTOS LEGAIS.....	51
4.1 – Área Internacional dos Fundos Marinhos – Área	51
4.2 – Mar Territorial, Plataforma Continental e Zona Econômica Exclusiva	53
4.2.1 - Constituição Federal	53
4.2.2 – Política Nacional para os Recursos do Mar.....	53
4.2.3 - Legislação Mineral.....	54
4.2.4 - Legislação Ambiental	57
4.2.5 – Autoridade Marítima.....	58

5 – DIREITOS MINERÁRIOS.....	60
6 – TECNOLOGIAS DE PESQUISA E LAVRA MINERAL NO MAR.....	68
6.1 – Depósitos minerais superficiais de águas rasas.....	68
6.1.1 – Pesquisa Mineral	68
6.1.1.1 – Métodos Indiretos	68
6.1.1.2 – Métodos Diretos	69
6.1.2 – Lavra Mineral	70
6.1.2.1 – Granulados.....	70
6.1.2.2 – Depósitos de Pláceres	72
6.2 – Depósitos minerais subsuperficiais.....	72
6.2.1 – Pesquisa Mineral	72
6.2.1.1 – Sais	72
6.2.1.2 – Enxofre.....	73
6.2.1.3 – Carvão.....	73
6.2.2 – Lavra Mineral	73
6.3 – Depósitos minerais de mar profundo.....	75
6.3.1 – Pesquisa mineral	75
6.3.2 – Lavra mineral	76
7 - ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE INSUMOS MINERAIS MARINHOS EM SUBSTITUIÇÃO AOS CONTINENTAIS.....	80
7.1 – Insumos minerais fertilizantes.....	81
7.1.1 – Granulados carbonáticos	81
7.1.2 – Sais de potássio.....	84
7.2 – Agregados para a indústria da construção civil.....	84
8 – IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO MARINHA.....	87
8.1 – Impacto na coluna d’água e no fundo marinho	88
8.2 – Impacto na biota.....	89
9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
10 – REFERÊNCIAS	93
10.1 – Bibliográficas.....	93
10.2 – Textos Legais citados.....	95

1 – INTRODUÇÃO

Os recursos minerais são um elemento-chave nas economias em desenvolvimento, sendo o aumento dos preços das *commodities* minerais no mercado internacional, mesmo após a última crise, um ótimo motivo para se buscar novas alternativas, podendo o mar vir a ser uma opção atrativa.

Os mares e os oceanos cobrem 71% da superfície da Terra, sendo a área do Oceano Pacífico duas vezes maior que de todos os continentes. Cerca de 60% da superfície da Terra é formada por bacias oceânicas com profundidades geralmente superiores a 2000 metros, mas esta gigantesca e rica área ainda é relativamente desconhecida. No entanto, sua riqueza pode um dia tornar-se uma necessidade crítica global de energia e matérias-primas. Explorações científicas realizadas nos últimos trinta anos têm identificado diversos processos geológicos e geoquímicos que conduzem à concentração de metais (nódulos polimetálicos, crostas cobaltíferas e sulfetos hidrotermais) e da gênese de recursos de energéticos (hidratos de metano) em mar profundo. Estas descobertas abrem novas fronteiras para a pesquisa e identificação de recursos minerais e de energia nos oceanos. Além disso, convém notar que os sulfetos hidrotermais, os nódulos, as crostas cobaltíferas e a síntese de hidrogênio estão relacionados com processos específicos submarinos que não têm equivalentes na crosta continental emersa.

A mineração marinha não é um empreendimento novo, fora aqueles de mar profundo, que ainda são considerados como recursos futuros, vários depósitos minerais já são amplamente explorados em algumas zonas econômicas exclusivas ao redor do mundo, desde meados do século passado e mesmo antes, representando um potencial de bilhões de dólares, que utiliza avançadas tecnologias. Podem ser citados, entre outros, areias e cascalhos para construção civil na Europa, Ásia e Oceania; cascalhos e areias carbonáticas (fragmentos de conchas e de algas) na Europa, Ásia, América do Norte e do Sul; minerais pesados (ouro, terras raras, estanho, titânio, zircônio e outros) na Ásia, África, América do Norte e Oceania e diamantes ao largo da costa atlântica da África a profundidades de até 500 metros.

A despeito das três décadas de pesquisa nos oceanos, o potencial econômico dos recursos minerais marinhos ainda está bem abaixo do estimado por relatórios elaborados na década de 70. Além do petróleo, que possui importante papel na produção mundial de energia, somente alguns depósitos minerais marinhos, como já citados acima, têm sido minerados economicamente. Todavia, esses podem representar um importante recurso a médio e longo prazo, dependendo de conjunturas internacionais, portanto merecem total atenção no que diz respeito aos estudos relacionados à sua exploração e exploração.

Embora não seja considerada mineração no sentido tradicional, a indústria do petróleo entrou no mar em meados do século 20. Na época foi questionada a necessidade de recuperar esse óleo, quando havia abundância no continente e a tecnologia para exploração não estava desenvolvida. Hoje, cerca de um terço da produção mundial de petróleo provém desta fonte e está crescendo, com o desenvolvimento da tecnologia que permite instalações cada vez mais profundas. No

Brasil, na falta de petróleo em terra, a Petrobras pesquisou e tornou-se pioneira na exploração de petróleo e gás *offshore*, batendo seguidos recordes de profundidade de exploração, culminando com os campos do pré-sal. A exploração de petróleo em mar profundo também ocorre no Golfo do México e ao largo da costa leste do Canadá, sem citar os poços em águas rasas. Os desafios tecnológicos da exploração em águas profundas estão sendo superados pela indústria do petróleo, podendo a indústria de mineração capitalizar a experiência do petróleo no desenvolvimento de tecnologias de exploração e exploração dos recursos minerais marinhos.

Neste trabalho procurou-se fazer um diagnóstico da situação da exploração dos recursos minerais marinhos, exceto petróleo e gás, na zona econômica exclusiva e plataforma continental brasileira abordando um pouco da situação mundial e discutindo as questões tecnológicas, jurídicas, ambientais e outras que estão impedindo que este setor cresça no Brasil. Embora pioneiro na exploração de petróleo e gás *offshore*, ainda engatinha na exploração de outros recursos minerais marinhos.

A Tabela 1.1 apresenta os diferentes minerais marinhos que são ou podem ser extraídos do fundo do mar. A Figura 1.1 mostra um mapa com a distribuição dos recursos minerais segundo Rona (2008 *apud* Scott, 2008).

Recurso mineral	Modo de Ocorrência	Status da exploração	Potencial de crescimento
Agregados (areias e cascalhos)	Praia e marinho raso	Operacional	Alto
Calcário (areias e cascalhos)	Praia e marinho raso	Operacional	Alto
Calcário (recifes)	Praia e marinho raso	Operacional	Baixo
Chumbo	Sulfetos de mar profundo	Não operacional	Alto
Cobalto	Nódulos de mar profundo	Não operacional	Moderado
Cobalto	Crostras em montes submarinos	Não operacional	Baixo
Cobre	Nódulos de mar profundo	Não operacional	Moderado
Cobre	Sulfetos de mar profundo	Não operacional	Alto
Diamante	Placeres (praia e marinho raso)	Operacional	Alto
Enxofre	Marinho raso	Operacional	Moderado
Estanho	Placeres (marinho raso)	Operacional até 50 m de lâmina d'água	Moderado
Fosfato	Marinho raso e montes submarinos	Não operacional	Moderado
Metano (hidratos de gás)	Marinho raso/intermediário	Não operacional (pesquisas promissoras)	Moderado

Minerais pesados (cromo, terras raras, tório, titânio e zircônio)	Placeres (praia e marinho raso)	Operacional	Moderado
Níquel	Nódulos de mar profundo	Não operacional	Moderado
Níquel	Crostras em montes submarinos	Não operacional	Baixo
Ouro	Placeres (marinho raso)	Operacional	Moderado
Ouro	Sulfetos de mar profundo	Não operacional	Alto
Platina (Grupo)	Crostras em montes submarinos	Não operacional	Baixo
Prata	Sulfetos de mar profundo	Não operacional	Alto
Sais	Costeiro e marinho raso	Operacional	Moderado
Terras Raras	Crostras em montes submarinos	Não operacional	Baixo
Zinco	Sulfetos de mar profundo	Não operacional	Alto

Tabela 1.1 – Recursos minerais em ambiente marinho. Adaptado de Scott (2008).

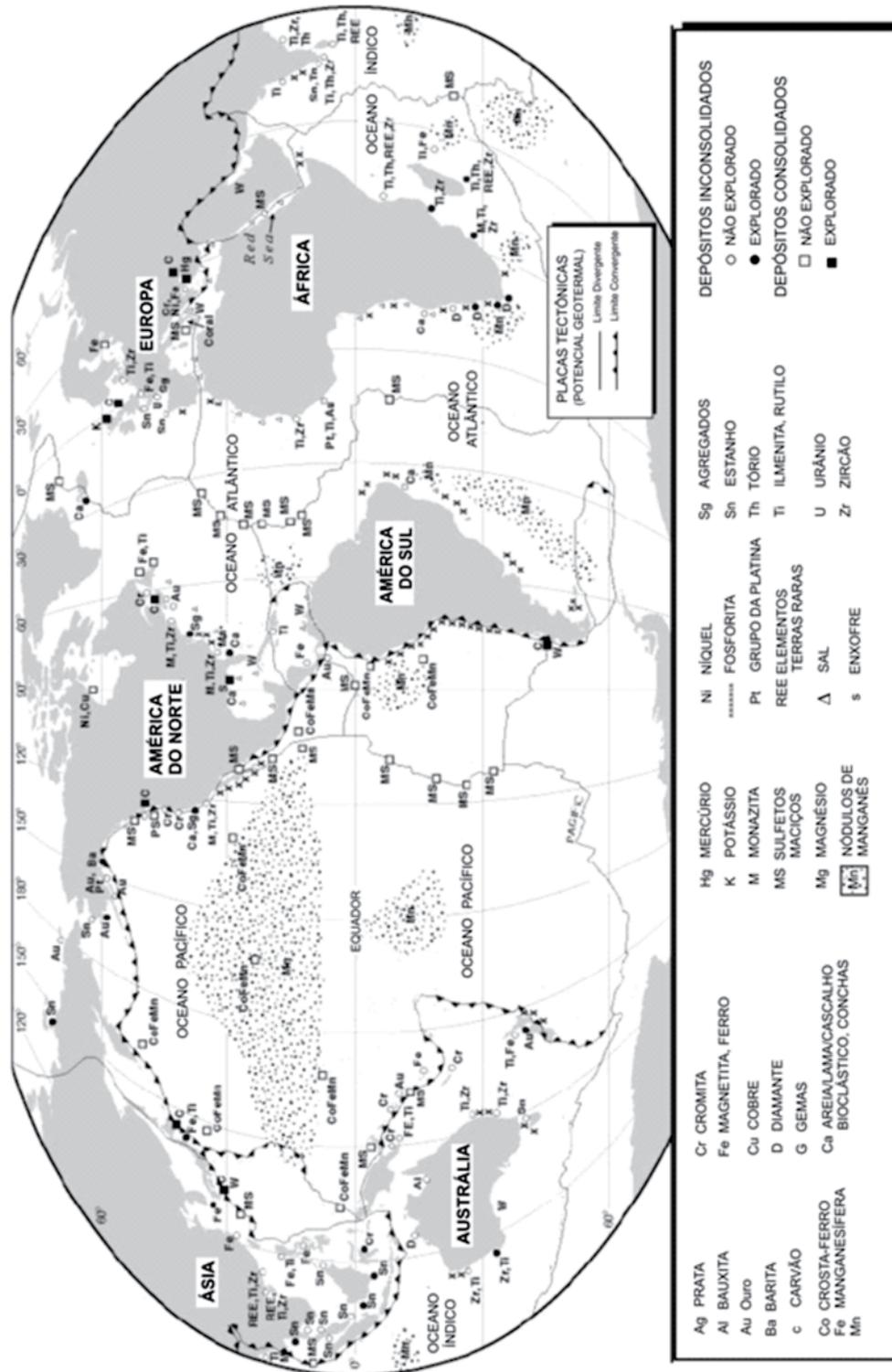


Figura 1.1 – Distribuição dos recursos minerais marinhos. Modificado de Rona (2008 apud Scott, 2008).

2 - O ESPAÇO MARINHO BRASILEIRO E AS ÁREAS DE JURISDIÇÃO INTERNACIONAL

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) foi aprovada durante a II Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, realizada em Montego Bay (Jamaica) em dezembro de 1982, sendo resultado de nove anos de negociações entre centenas de países. O Brasil é um dos signatários da convenção de 1982, posteriormente, ratificada em 22 de dezembro de 1988. Ela define e regulamenta os espaços oceânicos, os limites da jurisdição nacional, o acesso aos mares, a navegação, a investigação científica, a proteção e preservação do ambiente marinho, a exploração e conservação dos recursos biológicos, bem como dos recursos minerais dos fundos oceânicos e de outros recursos não biológicos.

A CNUDM introduziu e consagrou os conceitos de mar territorial, zona contígua, zona econômica exclusiva e plataforma continental, nas áreas de jurisdição nacional; e alto mar e área internacional dos fundos marinhos (Área), nas áreas de jurisdição internacional.

A Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993 instituiu os limites marítimos brasileiros tornando-os coerentes com os preconizados pela CNUDM.

2.1 – O Mar Territorial e a Zona Contígua

De acordo com a CNUDM, a soberania dos Estados costeiros estende-se a uma faixa de mar adjacente que não pode exceder 12 milhas marítimas¹ a partir das linhas de base², definido como mar territorial.

No mar territorial, com algumas exceções relacionadas à navegação de passagem inofensiva, o Estado costeiro exerce soberania ou controle pleno sobre a massa líquida e o espaço aéreo sobrejacente, incluindo seu leito e subsolo, com direitos exclusivos sobre os recursos vivos e não vivos.

O mar territorial brasileiro foi instituído pelo Decreto-Lei nº 1.098, de 25 de março de 1970, com 200 milhas marítimas, passando a ser de 12 milhas marítimas com o advento da Lei nº 8.617/1993.

O Estado costeiro, de acordo com a CNUDM, pode estabelecer a zona contígua como medida de proteção do seu território, que não se estenderá além de 24 milhas marítimas, não tendo, no entanto, soberania nessa região, devendo fiscalizar e reprimir infrações às normas sanitárias, fiscais, de imigração e outras vigentes em seu território. Na verdade, a zona contígua se sobrepõe à zona econômica exclusiva.

¹ 1 milha náutica = 1.852 metros

² As linhas de base são utilizadas como origem do mar territorial, da zona contígua, da zona econômica exclusiva e, em alguns casos, da própria plataforma continental jurídica, podendo ser normais ou retas. Quando normais, elas acompanham a linha de baixa-mar, conforme indicada nas cartas náuticas produzidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha. Nos locais onde a linha de costa apresenta recortes profundos ou uma franja de ilhas na sua proximidade imediata, são usadas as linhas de base retas, mediante a união de pontos apropriados, que, no caso do litoral brasileiro, constam do Decreto nº 1.290, de 21 de outubro de 1994.

2.2 – A Zona Econômica Exclusiva

Segundo a CNUDM, a zona econômica exclusiva (ZEE) está situada além do mar territorial e a este adjacente, não podendo exceder 200 milhas marítimas das linhas de base, a partir das quais se mede a largura do mar territorial.

Na ZEE, o Estado costeiro possui direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo.

O Estado costeiro também tem jurisdição para regulamentar a investigação científica marinha, tendo o direito exclusivo de construir, autorizar e regulamentar a construção, operação e utilização de ilhas artificiais ou outras instalações e estruturas com finalidades econômicas e/ou para fins de investigação científica. A investigação científica na ZEE brasileira, realizada por instituições nacionais e/ou internacionais, somente poderá ser realizada com o consentimento do governo brasileiro.

A navegação e o sobrevôo, bem como outros usos internacionalmente lícitos, são inteiramente livres para todos.

Acompanhando os critérios estabelecidos pela Convenção para sua delimitação, a ZEE brasileira estende-se por toda a costa, englobando também as áreas situadas no entorno de Fernando de Noronha, Trindade e Martim Vaz, Atol das Rocas e Arquipélago de São Pedro e São Paulo, totalizando 3,5 milhões de km² (Figura 2.1).

2.3 - A Plataforma Continental

A CNUDM define que: “A plataforma continental de um Estado costeiro compreende o leito e o subsolo das áreas submarinas que se estendem além do seu mar territorial, em toda a extensão do prolongamento natural do seu território terrestre, até ao bordo exterior da margem continental, ou até uma distância de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial, nos casos em que o bordo exterior da margem continental não atinja essa distância”. Esta definição, consagrada pelo parágrafo 1º do artigo 76 da CNUDM, tem um enfoque jurídico bem diferente do conceito fisiográfico ou morfológico definido por Heezen *et al* (1959 *apud* Souza, 1999).

Pela definição jurídica de plataforma continental, nos casos em que o bordo exterior da margem continental não se estende até 200 milhas marítimas, a plataforma continental jurídica - PCJ de um estado costeiro pode englobar as feições fisiográficas conhecidas como plataforma, talude e elevação continentais, e, em algumas circunstâncias, inclusive regiões da planície abissal, confundindo-se, assim, com o conceito de ZEE, o qual por ser mais abrangente será utilizado para definir esta porção do espaço marinho.

Nos casos em que a extensão morfológica da plataforma continental se estende além das 200 milhas marítimas, a CNUDM define alguns critérios para o estabelecimento dos limites externos, ou seja, 350 milhas marítimas das linhas de base, ou 100 milhas marítimas da isóbata de 2.500 metros de profundidade, sendo denominada PCJ.

A CNUDM entende a plataforma continental como uma extensão submersa do território, reconhecendo a soberania do Estado costeiro para fins de exploração e aproveitamento dos recursos naturais nela existentes, não se aplicando às águas marinhas e ao espaço aéreo sobrejacente, mas apenas ao leito e ao subsolo ali existente.

Os recursos naturais da PCJ, de acordo com a CNUDM, compreendem “... os recursos minerais e outros recursos não vivos do leito do mar e subsolo bem como os organismos vivos pertencentes a espécies sedentárias, isto é, aquelas que no período de captura estão imóveis no leito do mar ou no seu subsolo ou só podem mover-se em constante contato físico com esse leito ou subsolo.”

O Estado costeiro exerce direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento dos seus recursos naturais e esses direitos são exclusivos, ou seja, se o Estado costeiro não explorar e aproveitar os recursos minerais da PCJ, ninguém pode empreender estas atividades sem o seu expresso consentimento.

O Decreto nº 98.145, de 15/09/89, instituiu o Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), com o propósito de estabelecer o limite exterior da nossa plataforma continental no seu enfoque jurídico, ou seja, determinar a área marítima, além das 200 milhas, na qual o Brasil exercerá direitos de soberania para a exploração e o aproveitamento dos recursos naturais do leito e subsolo marinho, conforme previsto na CNUDM.

As atividades do LEPLAC foram iniciadas em 1987, culminando com a Proposta de Limite Exterior da Plataforma Continental Brasileira, encaminhada à Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC) da ONU em 2004, por intermédio do Ministério das Relações Exteriores, a fim de ser apreciada por aquela Comissão. A área total reivindicada além das duzentas milhas náuticas perfaz 960.000 km², distribuída ao longo da costa brasileira conforme a figura 2.1. Em abril de 2007, a CLPC não atendeu ao pleito brasileiro na sua totalidade, não concordando com cerca de 190.000 km², representados pelo Cone do Amazonas, Cadeias Norte Brasileira e Vitória-Trindade e Margem Continental Sul. O Governo brasileiro não aceitou o resultado da análise da CLPC e está em elaboração uma nova proposta (Figura 2.1).

2.4 – O Alto Mar

O alto mar, de acordo com a CNUDM, compreende todas as partes do mar não incluídas na zona econômica exclusiva, no mar territorial ou nas águas interiores de um estado, nem nas águas arquipélagicas de um estado arquipélago, estando aberto a todos os Estados costeiros ou sem litoral, que nele tem liberdade de navegação, de sobrevôo, de colocar cabos e dutos, de construir ilhas artificiais e outras instalações, de pesca e de realizar investigações científicas, nos termos previstos na CNUDM.

O alto mar será utilizado para fins pacíficos e nenhum Estado pode legitimamente pretender submeter qualquer parte do alto mar à sua soberania.

2.5 - A Área Internacional dos Fundos Marinhos – Área

A Área corresponde aos fundos marinhos e oceânicos que se situam além dos limites da jurisdição nacional. Os recursos da Área compreendem todos os minerais sólidos, líquidos ou gasosos *in situ* no leito do mar ou no seu subsolo.

BRASIL	Área (km ²)
Território emerso	8.500.000
Zona Econômica Exclusiva	3.500.000
Extensão da Plataforma Continental pleiteada a CLPC da ONU	960.000
ZEE + Extensão da PC	4.460.000



Figura 2.1 – Plataforma Continental Jurídica Brasileira. Fonte: <http://www.mar.mil.br/secirm>.

3 – RECURSOS MINERAIS MARINHOS

Na zona econômica exclusiva brasileira já foram identificados depósitos de granulados bioclásticos e siliciclásticos, pláceres de minerais pesados e gemas, fosforitas, carvão, evaporitos, crostas e nódulos polimetálicos. Entre os recursos minerais cuja lavra é operacional, os que suscitam maior interesse são os granulados bioclásticos e siliciclásticos, os sais de potássio e os pláceres de minerais pesados. A figura 3.1 apresenta a distribuição dos recursos minerais na zona econômica exclusiva e na extensão da plataforma continental pleiteada pelo Brasil junto a ONU.

3.1 – Recursos Minerais de Aproveitamento Imediato

3.1.1 – Granulados siliciclásticos

Granulados litoclásticos ou siliciclásticos marinhos são areias e cascalhos, originados no continente e depositados na plataforma continental, onde são retrabalhados pela ação das ondas, das marés e das correntes marinhas. São compostos predominantemente por areias e/ou cascalhos quartzosos, seguidos por outros minerais, tais como feldspatos, zirconita, rutilo, ilmenita e outros, bem como por fragmentos de rocha. Em função da granulometria variável, desde areias finas (0,250 – 0,125mm) até seixos (64,0 – 4,0mm), emprega-se comumente o termo *granulado* para descrição deste tipo de material detrítico.

A maioria dos depósitos são reliquias, ou seja, remanescentes de ambiente anterior diferente do atual, associados a episódios de nível de mar baixo, quando os rios e geleiras estendiam-se até a borda da plataforma continental, sendo, posteriormente, parcialmente retrabalhados e afogados pelos eventos transgressivos que atuaram durante o Quaternário.

Os granulados siliciclásticos marinhos são importantes insumos minerais utilizados, principalmente, na indústria da construção civil e em obras de engenharia costeira. No mundo, depois de óleo e gás, é o recurso mineral mais extraído do fundo marinho, excedendo em volume e potencial o valor de qualquer outro recurso não - vivo.

Por tratar-se de bem mineral de baixo valor agregado é importante que o local de extração seja próximo ao mercado consumidor, para viabilizar o empreendimento, tanto nos casos de utilização como agregado na indústria da construção civil quanto para projetos de reconstituição de perfis de praias.

O aumento da erosão causado pela acentuada urbanização da zona costeira é uma realidade e vem provocando, em muitos locais, problemas muito sérios, causando prejuízos materiais, inclusive inviabilizando áreas atraentes para o turismo. Os projetos de reconstrução de praias com a utilização de areias e/ou cascalhos marinhos são amplamente utilizados em todo o mundo, não se tratando de tecnologia nova, já sendo realizado, nos Estados Unidos e em alguns países da União Européia, há várias décadas. No Brasil, já existem projetos semelhantes executados em grandes cidades e em locais de interesse turístico, com o objetivo de diminuir os efeitos severos da erosão na linha de costa.

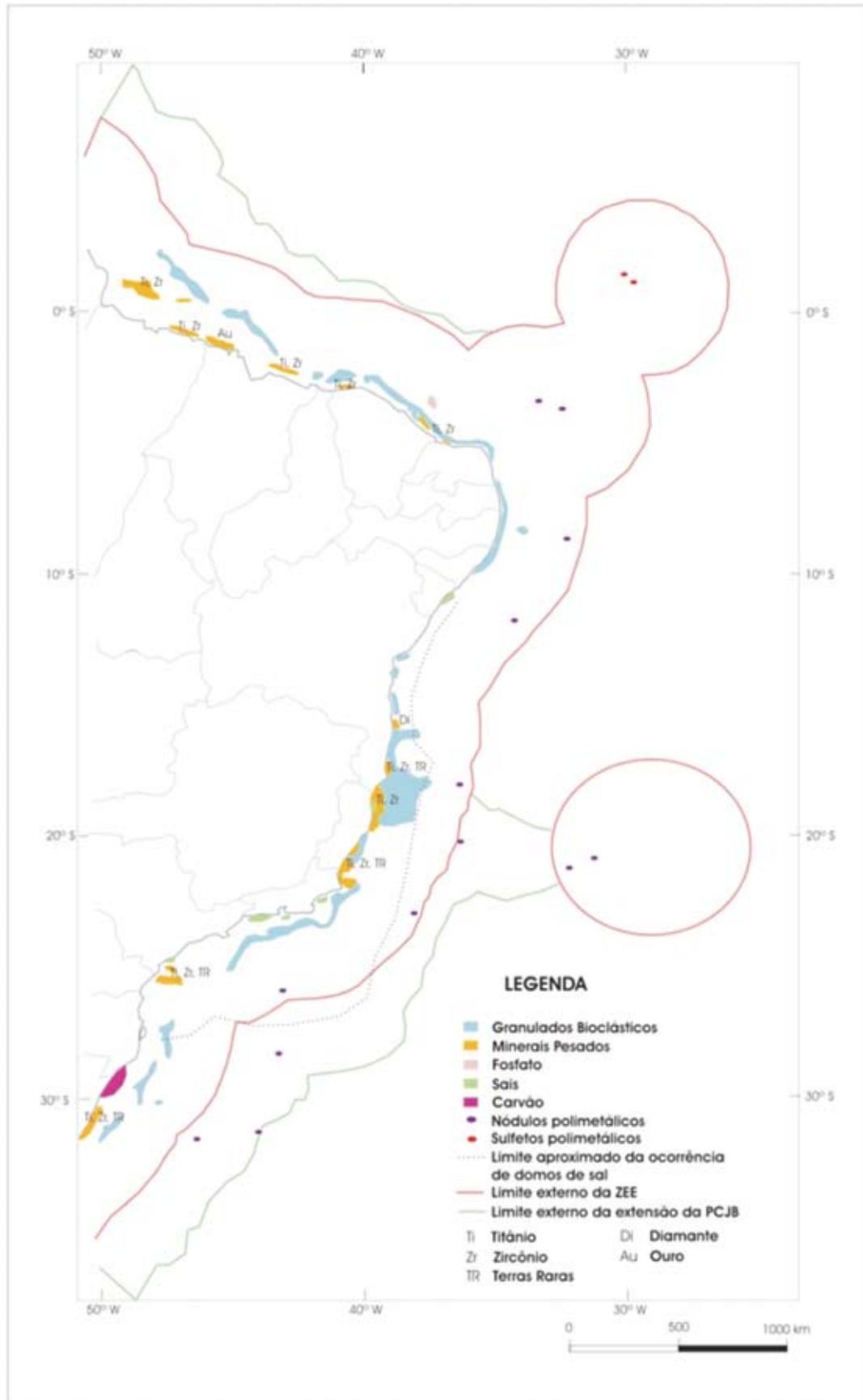


Figura 3.1 – Distribuição dos recursos minerais na zona econômica exclusiva e extensão da plataforma continental do Brasil.

Os agregados marinhos são amplamente utilizados na indústria da construção civil em vários países, inclusive na fabricação de todos os tipos de concreto. Entre aqueles que exploram granulados marinhos de suas plataformas continentais para utilização na construção civil, destacam-se Japão, Reino Unido, França, Países Baixos, Bélgica, Alemanha, Dinamarca e Nova Zelândia.

No Brasil, a maioria das regiões metropolitanas encontra-se na Zona Costeira e os depósitos de agregados localizados dentro ou nas proximidades desses aglomerados urbanos já estão, na maioria dos casos, em processo de exaustão das reservas, além de sua exploração está submetida a restrições ambientais crescentes. O agregado dragado do fundo marinho poderá vir a ter um papel importante na produção nacional de agregados, substituindo aquele extraído no continente e reduzindo a extração em áreas de importância turística, agrícola ou ambiental. No entanto, ainda não existem áreas regularizadas para lavra de agregados marinhos no Brasil, ainda havendo certo receio quanto à qualidade do agregado, muito embora já existam diversos estudos publicados no mundo e no Brasil atestando a qualidade desse material, como os trabalhos de Boutmin (1986) e Cavalcanti (1998).

O *International Council for the Exploration of the Sea (ICES)* é uma organização intergovernamental que coordena e promove a investigação marinha no Atlântico Norte, possuindo 20 países membros, que são Bélgica, Canadá, Dinamarca (incluindo a Groenlândia e as Ilhas Faroé), Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Islândia, Irlanda, Letônia, Lituânia, Holanda, Noruega, Polônia, Portugal, Rússia, Espanha, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos. Entre os países membros do *ICES*, alguns possuem atividades de extração de agregados marinhos, cuja produção anual consta da tabela 3.1. Entre os países não membros do *ICES* com participação importante na produção mundial de agregados marinhos, destacam-se a Nova Zelândia e o Japão, sendo este último, de acordo com Martins & Souza (2007), responsável por cerca de 50% da produção mundial.

A tabela 3.1 apresenta a produção de agregados extraídos de alguns países membros do *ICES*, em que o total extraído está dividido de acordo com a sua utilização, ou seja: agregados para construção civil são areias e/ou cascalhos marinhos utilizados como matéria prima na indústria da construção, principalmente na fabricação de concreto e outras argamassas; areias e/ou cascalhos marinhos usados na reconstrução de perfis de praia em projetos de engenharia costeira, aterros em obras de engenharia e recuperação de áreas degradadas; e agregado exportado, em que estão incluídos areias e/ou cascalhos marinhos extraídos e exportados para outros países.

País	2007				2008				2009			
	Agregados para construção civil (m3)	Recuperação de áreas degradadas (m3)	Agregado exportado (m3)	Total Extraído (m3)	Agregados para construção civil (m3)	Recuperação de áreas degradadas (m3)	Agregado exportado (m3)	Total Extraído (m3)	Agregados para construção civil (m3)	Recuperação de áreas degradadas (m3)	Agregado exportado (m3)	Total Extraído (m3)
Bélgica	1.539.699	450.146		1.989.845	1.761.454	506.931	283.251	2.551.636	1.673.696	288.480	385.000	2.347.176
Dinamarca	6.490.000	2.140.000	350.000	8.980.000	6.490.000	2.140.000	350.000	8.980.000	3.100.000	4.100.000	500.000	7.700.000
França	5.934.000			5.934.000	7.511.588	1.070.000		8.581.588	7.496.588			7.496.588
Alemanha	109.248	1.317.262		1.426.510		2.086.908		2.086.908	19.262.151	1.296.399		20.558.550
Islândia									374.885			374.885
Holanda	1.900.371	26.401.014	2.900.000	31.201.385	1.708.381	24.651.993	3.262.720	29.623.094	2.531.790	116.947.880	2.403.284	121.882.934
Noruega					10.000			10.000	10.000			10.000
Espanha		26.906		26.906		755.073		755.073		617.492		617.492
Reino Unido	12.724.124	1.264.165	4.005.447	17.993.736	11.647.382	1.328.691	3.741.989	16.718.062	9.457.522	2.706.745	3.409.953	15.574.220
Estados Unidos	1.225.000	3.529.000		4.754.000	982.087	3.246.016		4.228.103	666.397	3.187.429		3.853.826
	29.922.442	35.128.493	7.255.447	72.306.382	30.110.892	35.785.612	7.637.960	73.534.464	44.573.029	129.144.425	6.698.217	180.415.671

Tabela 3.1 – Produção de granulados siliciclásticos marinhos e sua destinação em alguns países membros do *International Council for the Exploration of the Sea-ICES*. Adaptado de ICES WGEXT Report (2008; 2009 e 2010).

3.1.2 – Granulados Carbonáticos

Os granulados bioclásticos ou carbonáticos marinhos são areias e cascalhos inconsolidados constituídos por algas calcárias, moluscos, briozoários, foraminíferos bentônicos e quartzo. Nos fragmentos de algas predominam as algas coralíneas (algas vermelhas) ramificadas, maciças ou em concreções e os artículos de *Halimeda* (algas verdes).

O grupo das algas calcárias possui mais de 30 gêneros e cerca de 500 espécies. Nenhum outro tipo de alga marinha ocupa tão ampla diversidade de *habitats*, desde a zona intermarés até profundidades em torno de 200 metros. As algas calcárias são os organismos que mais acumulam o carbonato de cálcio em seu interior, sendo compostas, além do carbonato de cálcio e magnésio, de mais de 20 oligoelementos, presentes em quantidades relativamente variáveis tais como ferro (Fe), boro (B), potássio (K), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio (Mo), silício (Si), fósforo (P) e estrôncio (Sr).

As algas coralíneas (*coralináceas*) são algas vermelhas que precipitam em suas paredes celulares o carbonato de cálcio e magnésio, sob a forma de cristais de calcita. Podem se desenvolver, inicialmente, a partir de fragmentos de crostas oriundas da fragmentação de outras algas calcárias e constituir ramificações (talos), que se destacam e continuam seu desenvolvimento no estado livre. *Mäerl* é o termo usado na França para designar um sedimento marinho constituído por algas coralíneas, sendo os denominados “fundos de *mäerl*” resultantes da acumulação de talos ramificados e livres de algas coralíneas, formando bancos, cuja superfície pode atingir vários quilômetros, sendo composta de fragmentos de algas coralíneas vivas e mortas ou unicamente mortas, pertencentes a gêneros e espécies diferentes dependendo das regiões de ocorrência nos oceanos. Na França, onde foram identificados inicialmente, esses fundos são constituídos das espécies *Lithothamnium calcareum* e *Lithothamnium coralloides* (Figura 3.2).



Figura 3.2 – Bancos de *mäerl* resultantes da acumulação de talos ramificados e livres de algas coralíneas. Bretanha, plataforma continental francesa. Fonte: Grall, 2003.

As algas verdes calcificadas, do gênero *Halimeda*, podem crescer em vários ambientes, desde recifes turbulentos de pouca profundidade, lagoas profundas e no fundo dos recifes, muitas formas eretas podem crescer sobre sedimentos inconsolidados ou sobre substratos duros, como formas prostradas. Ao contrário das coralináceas, é composta de segmentos com junta calcificada e unidos por agulhas de aragonita, e dependendo do grau de desarticulação e desintegração do esqueleto, o sedimento oriundo dessas algas pode variar de cascalho à lama calcária.

A plataforma continental brasileira representa o mais extenso ambiente de deposição carbonática do mundo, se estendendo-se desde o rio Pará (lat. 00° 30'S) até o Rio Grande do Sul, constituído por sedimentos recentes, representados por recifes, areias e cascalhos bioclásticos e concheiros.

De acordo com Dias (2000), na plataforma continental brasileira observa-se uma grande variação nos tipos de bioclastos tanto regionalmente quanto em função da profundidade, ou seja:

- predominância de depósitos de sedimentos formados de fragmentos de algas coralíneas, principalmente, do gênero *Lithothamnium*.
- existência de grandes depósitos de sedimentos formados de fragmentos de algas do gênero *Halimeda* no Nordeste e a inexistência destes depósitos na região Sudeste.
- presença de algas coralíneas sob a forma de rodolitos maciços em certas regiões, em contraste com outras em que ocorrem somente fragmentos ramificados do tipo *mäerl*.
- predominância de briozoários em certas áreas, como na plataforma continental norte do Espírito Santo.

Carannante *et al* (1988), tendo por base os principais tipos de sedimentos e parâmetros ambientais, dividiram a plataforma continental brasileira em três zonas:

- Zona A (0° a 15° S) - predominam algas calcárias verdes (*Halimeda*) e algas coralíneas ramificadas. As algas coralíneas incrustantes estão presentes e, às vezes formam rodolitos, ocorrendo, ainda, limitadas cristas algálicas. Briozoários e foraminíferos bentônicos (*Amphistegina* e *Archaias*) são localmente abundantes. Corais hermatípicos são muito raros. Evidências de relíquias de sedimentos oolíticos podem ocorrer na plataforma amazônica.
- Zona B (15° a 23° S) - predominância de algas coralíneas incrustantes (rodolitos), seguidas de briozoários, pouca *Halimeda* e coralíneas ramificadas. Briozoários tornam-se abundantes em direção ao sul, bem como em águas mais profundas.
- Zona C (23° a 35° S) - sedimentos carbonáticos compostos de fragmentos de moluscos, equinóides, crustáceos e foraminíferos arenáceos. Briozoários tornam-se mais raros, foraminíferos bentônicos (*Amphistegina*) e as algas coralíneas e *Halimeda* são praticamente ausentes.

Nas regiões norte, nordeste e leste, mais precisamente do rio Pará até as proximidades de Cabo Frio, predominam sedimentos formados por algas calcárias vermelhas da família *Corallinaceae*, com predomínio do gênero *Lithothamnium*, seguidas de algas verdes, dos gêneros *Halimeda*, *Udotea* e *Penicillus*. De modo geral, no Brasil, as ocorrências mais contínuas encontram-se numa região com pouca profundidade, água relativamente quente (25° – 39°) e elevada salinidade (30 a 38). Vários estudos realizados identificaram os seguintes tipos de sedimentos derivados das algas coralíneas:

- cascalho - semelhante ao “*maërl da Bretagne*” ou a biocenose “*détritique côtier*” do mar Mediterrâneo, formado de uma mistura de areia e seixos de calcário biogênico, constituído de fragmentos de algas ramificadas, associadas a moluscos e briozoários. Localmente, o gênero *Halimeda* predomina formando o denominado “cascalho de *Halimeda*”;
- algas coralíneas incrustantes - formando um substrato duro, associadas com algas ramificadas, briozoários, corais, moluscos e foraminíferos bentônicos, semelhante à biocenose “*coralligène de plateau*” do mar Mediterrâneo;
- rodolitos - nódulos e concreções algálicas;
- recifes de algas - formando cristas algálicas na borda da plataforma continental ou cobrindo recifes de arenitos de praia.

Na plataforma continental do Maranhão, existem, pelo menos, quatro locais com depósitos expressivos de granulados bioclásticos (Fig. 3.3 e 3.4):

- bancos de Tutoia, formados quase que exclusivamente de fragmentos de algas coralíneas do gênero *Lithothamnium*;
- banco de São Luís, localizado a norte da cidade de São Luís, formado de sedimentos bioclásticos formados por fragmentos de algas calcárias, com predominância do gênero *Lithothamnium*, ocorrendo subordinado espécimes do gênero *Halimeda*;
- banco do Tarol, localizado a norte de Cururupu, a uma profundidade de 17 metros, formado quase que exclusivamente de fragmentos de algas coralíneas do gênero *Lithothamnium*;
- autofundo de Parnaíba, localizado a 205 milhas náuticas da costa norte do estado, com topo a cerca de 40 metros de profundidade da lâmina d’água, possui depósitos de sedimentos biodetríticos, predominantemente formados de algas coralíneas, com predominância do gênero *Lithothamnium*.

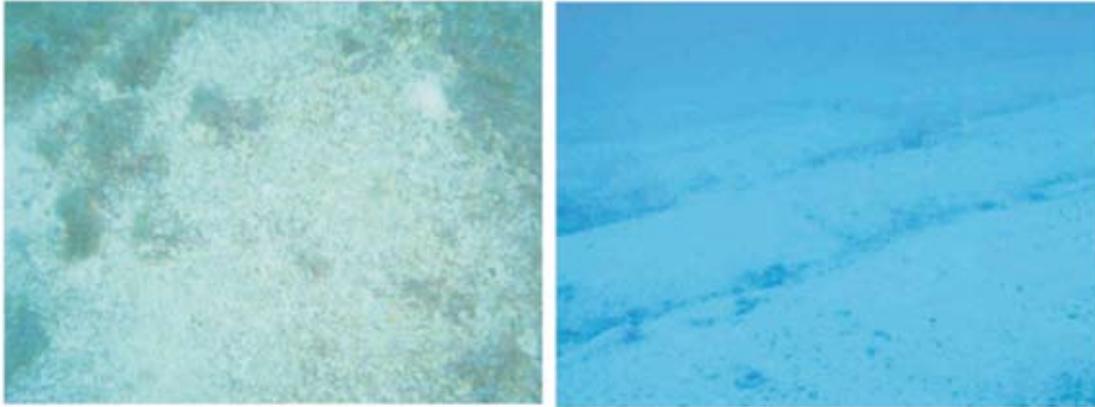


Figura 3.3 – Aspecto do fundo marinho formado por granulados bioclásticos na plataforma continental do Maranhão, município de Tutoia. Fonte: Roulier Brasil, 2007.

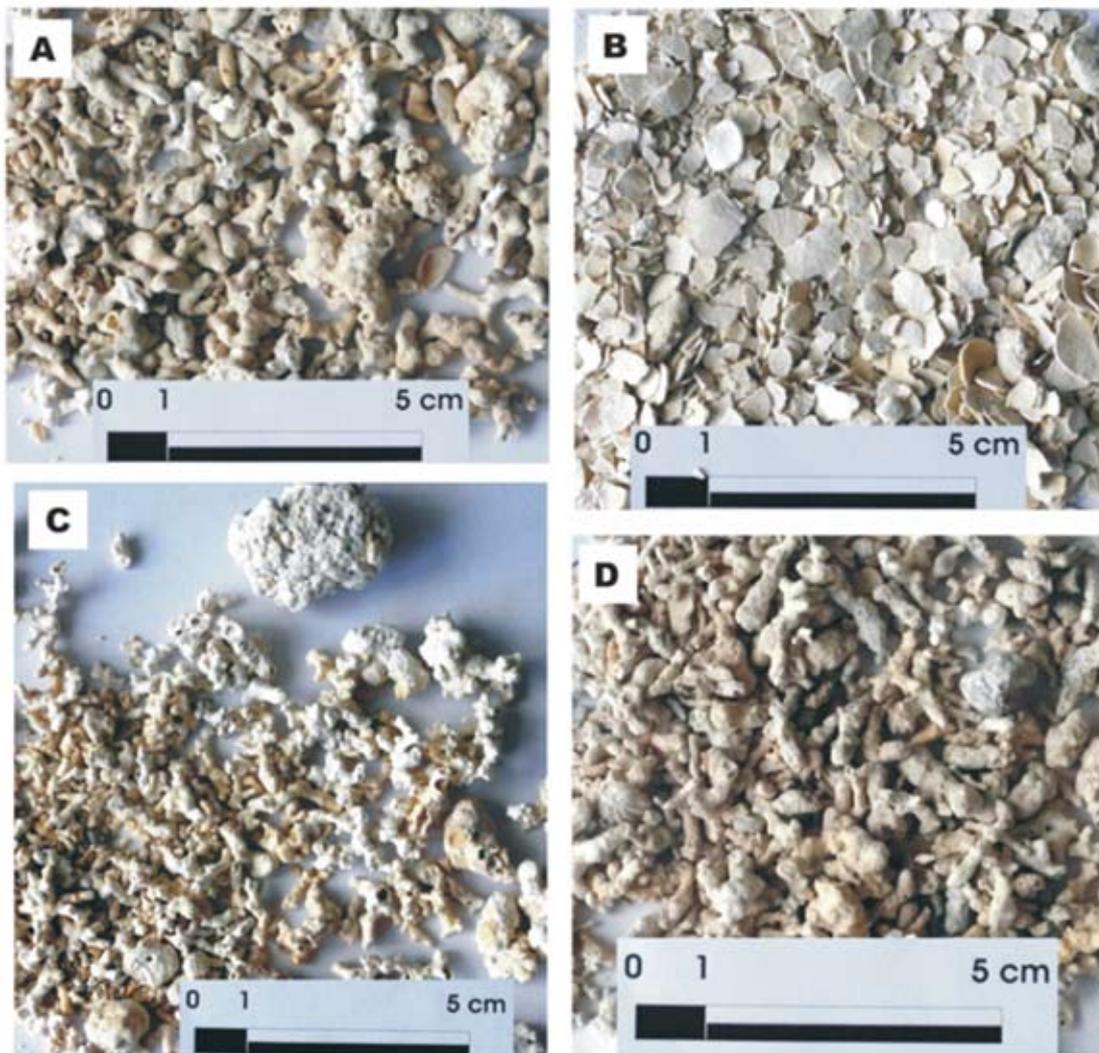


Figura 3.4 – Exemplos de granulados carbonáticos distribuídos na plataforma continental do Maranhão. A) Granulado bioclástico formado por fragmentos de algas coralíneas do gênero *Lithothamnium*, banco de São Luís; B) Areia e/ou cascalho de *Halimeda*, banco de São Luís; C) Granulado bioclástico formado por fragmentos de algas coralíneas do gênero *Lithothamnium*, banco de Tutoia; D) Granulado bioclástico formado por fragmentos de algas coralíneas do gênero *Lithothamnium*, banco do Tarol, Cururupu.

A plataforma continental do Ceará pode ser dividida em duas áreas, de acordo com o tipo de alga calcária predominante nos sedimentos bioclásticos (Fig. 3.5 e 3.6), como descrito a seguir:

- a leste de Fortaleza predominam, entre os bioclásticos, os depósitos de areias e/ou cascalhos de *Halimeda*, podendo ocorrer subordinadamente depósitos de areias e cascalhos biotritícos, compostos por fragmentos de algas coralíneas, moluscos, briozoários e outros, ocorrendo, geralmente, a profundidades superiores a 15 metros;
- a oeste de Fortaleza predominam depósitos constituídos, principalmente, por fragmentos de algas coralíneas, com predominância do gênero *Lithothamnium*, seguidos de conchas de moluscos e briozoários, rodolitos, restos de *Halimeda*, entre outros que, embora estejam distribuídos de 0 a 20 metros de profundidade, somente próximo ao limite com a plataforma externa tornam-se dominantes em relação aos depósitos siliciclásticos (Freire & Cavalcanti, 1998).

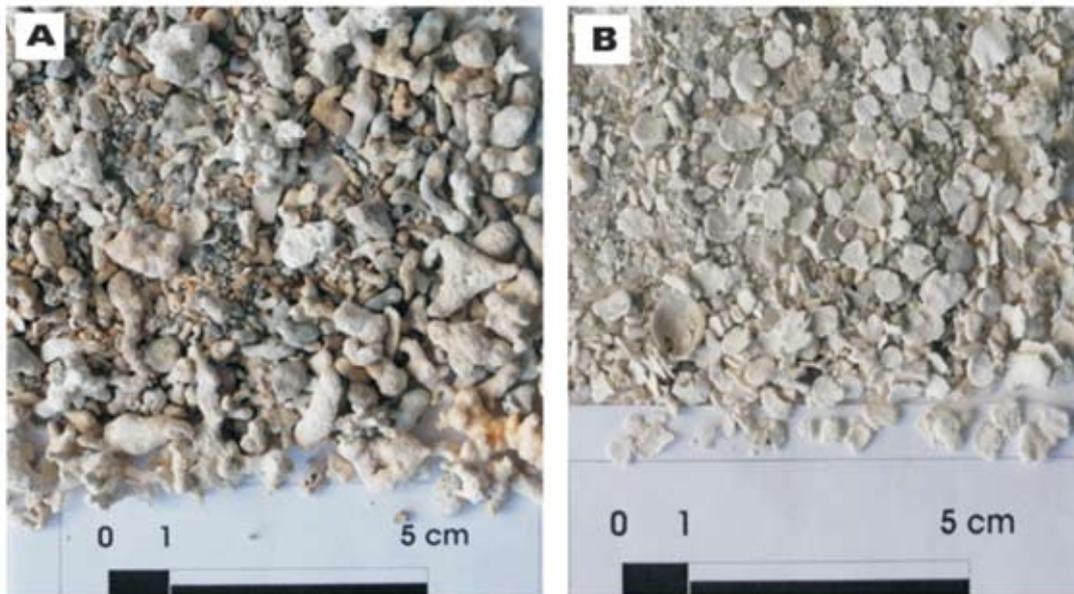


Figura 3.5 – Exemplos de granulados carbonáticos distribuídos na plataforma continental do Ceará. A) Granulado bioclástico formado por fragmentos de algas coralíneas do gênero *Lithothamnium*, oeste de Fortaleza; B) Areia e/ou cascalho de *Halimeda*, leste de Fortaleza.

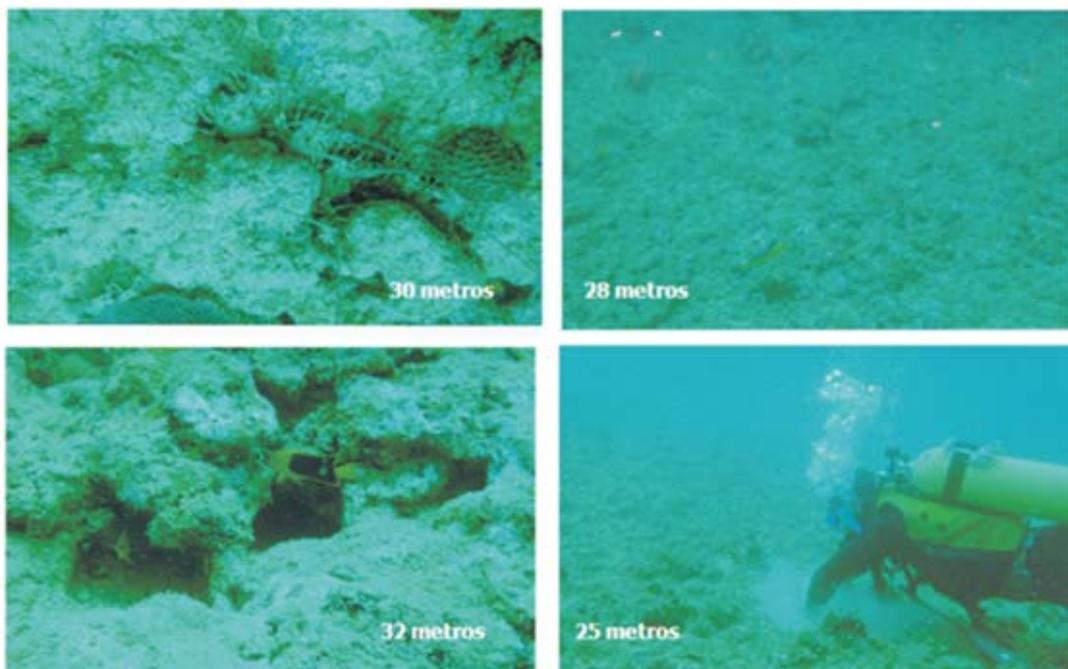


Figura 3.6 – Aspecto do fundo marinho formado por granulados bioclásticos na plataforma continental do Ceará. Fonte: Freire & Cavalcanti, 1998.

Na plataforma continental da Bahia, a sul da Ilha de Itaparica, ocorrem importantes depósitos de sedimentos bioclásticos formados por areia e/ou cascalho de algas coralíneas, com predomínio do gênero *Lithothamnium*, e secundariamente por foraminíferos e fragmentos de *Halimeda* (Fig. 3.7 e 3.8).



Figura 3.7 – Exemplo de *Lithothamnium sp* na plataforma continental da Bahia a sul da Ilha de Itaparica, Município de Valença. Fonte: Fertimar, 2005.

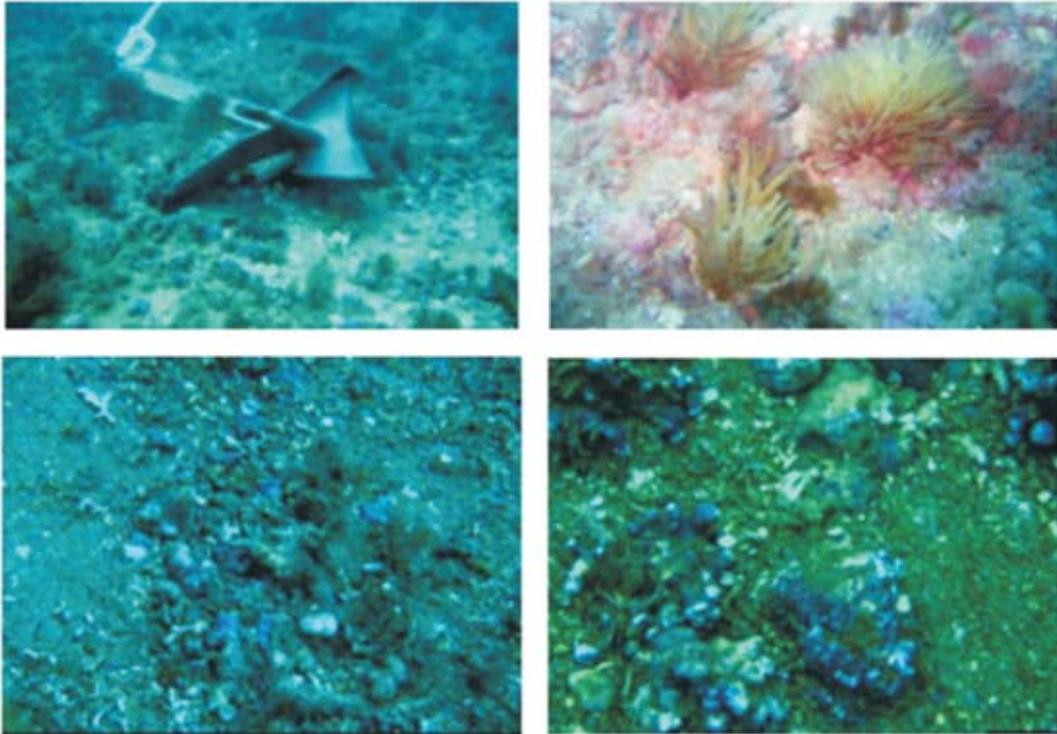


Figura 3.8 – Aspecto do fundo marinho formado por granulados bioclásticos na plataforma continental da Bahia, município de Valença. Fonte: Fertimar, 2005.

No estado do Espírito Santo, a norte de Vitória, na plataforma continental de Aracruz e Serra, ocorrem depósitos de granulados bioclásticos constituídos, predominantemente, por fragmentos de algas coralíneas, moluscos e briozoários. Na região sul do estado ocorre depósito de areias, cascalhos e grânulos provenientes da fragmentação de algas calcárias misturados com rodolitos de 5 a 10 cm de diâmetro, havendo, em algumas áreas, a ocorrência de blocos e crostas de algas calcárias e rodolitos, sobre um fundo de areia e cascalho (Figura 3.9 e 3.10).

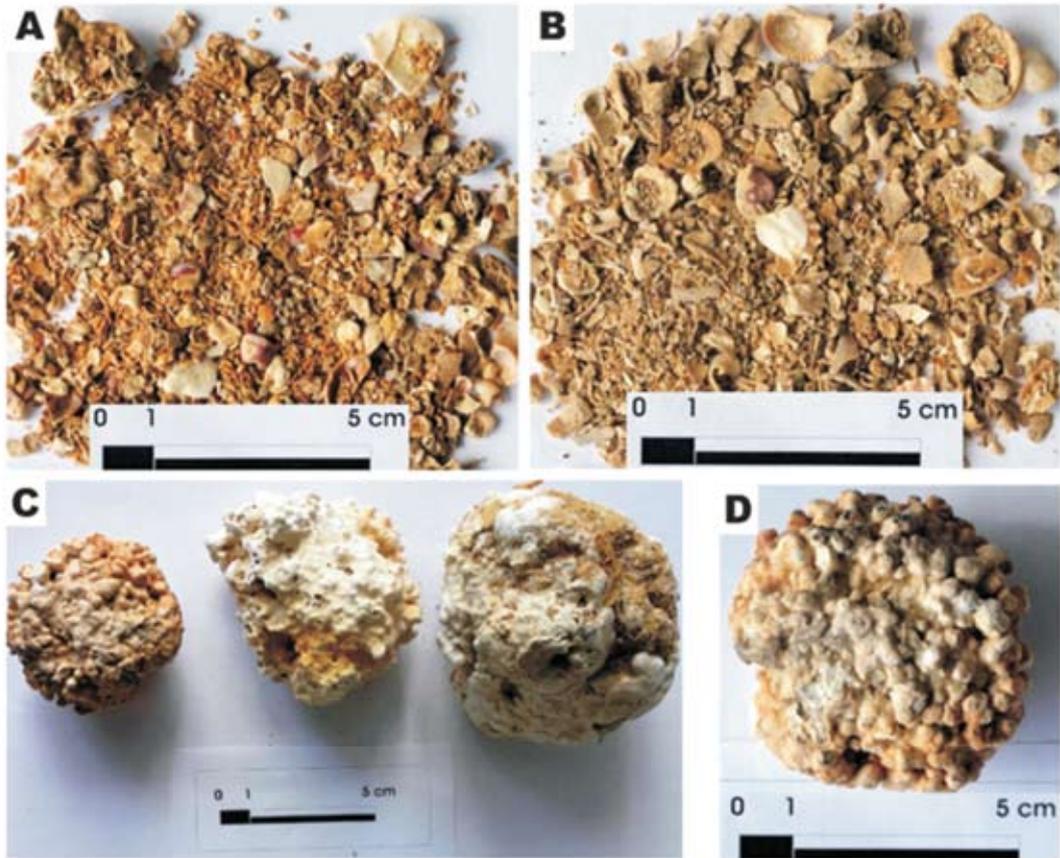


Figura 3.9 - Exemplos de granulados carbonáticos distribuídos na plataforma continental do Espírito Santo. A) Aracruz; B) Serra; C) Itapemirim; D) Detalhe de rodolito, Itapemirim.



Figura 3.10 - Aspecto do fundo marinho formado por granulados bioclásticos na plataforma continental do Espírito Santo. Fonte: município de Serra (Zenith Marítima, 2005); município de Itapemirim (Algarea Mineração, 2005).

Os concheiros ocorrem, localmente, na Baía de Todos os Santos (BA), Lagoa de Araruama (RJ) e na plataforma continental do Rio Grande do Sul.

A distribuição dos sedimentos carbonáticos nas plataformas continentais nordeste, leste e sudeste do Brasil está representada nas figuras 3.11, 3.12 e 3.13.

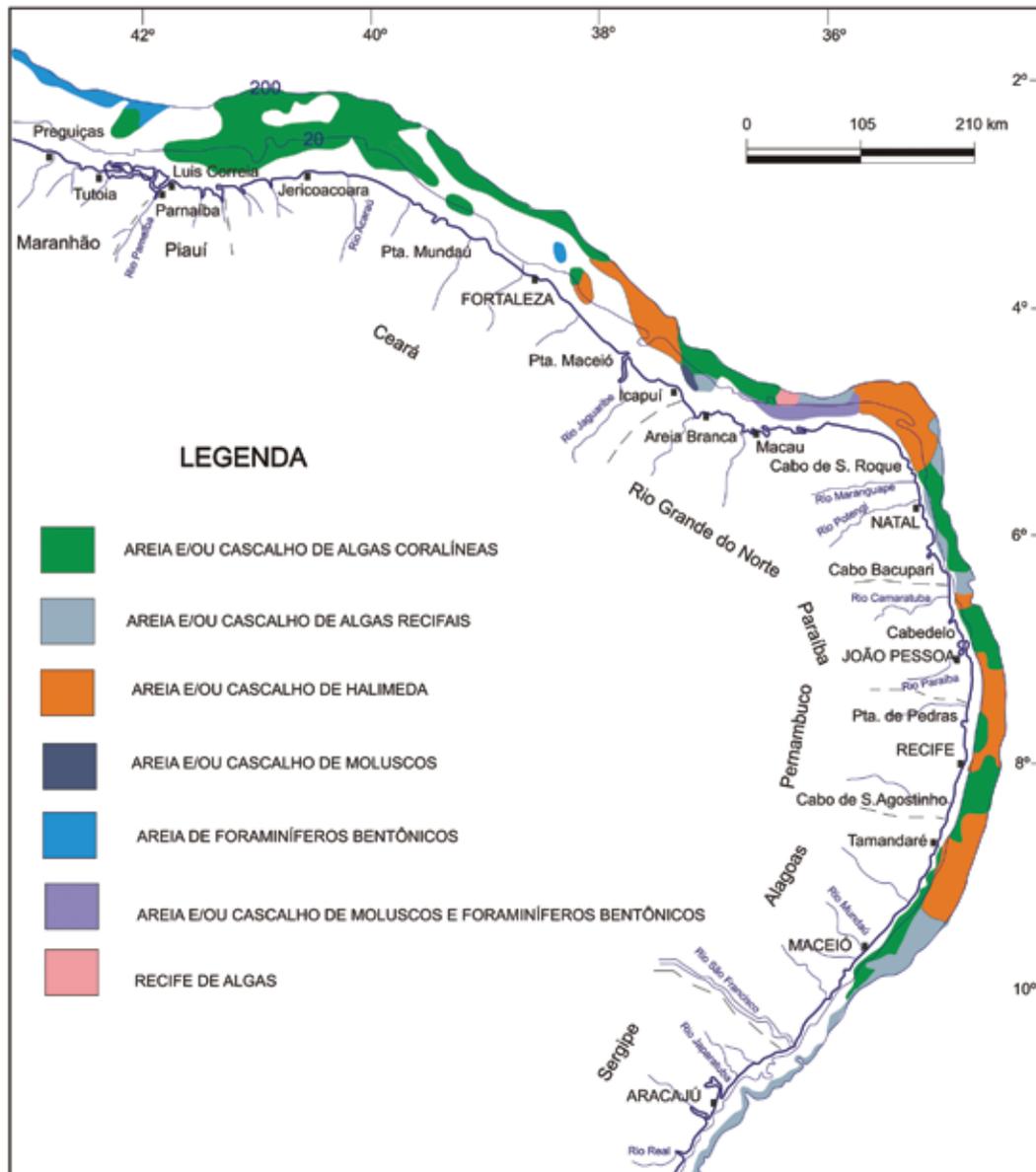


Figura 3.11 – Distribuição dos sedimentos carbonáticos na plataforma continental nordeste do Brasil. Adaptado de Projeto REMAC (1979).

Outra característica importante dos sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira é a ausência de oóides ou de outras formas de precipitação inorgânica de carbonatos, os baixos teores de fosforita e glauconita e a pequena quantidade de corais.

O desenvolvimento de algas calcárias na plataforma tropical brasileira deve-se à existência de condições ecológicas muito favoráveis, materializadas pelo fraco aporte terrígeno, boa penetração de luz, eficiente circulação de água e relativa estabilidade do substrato.

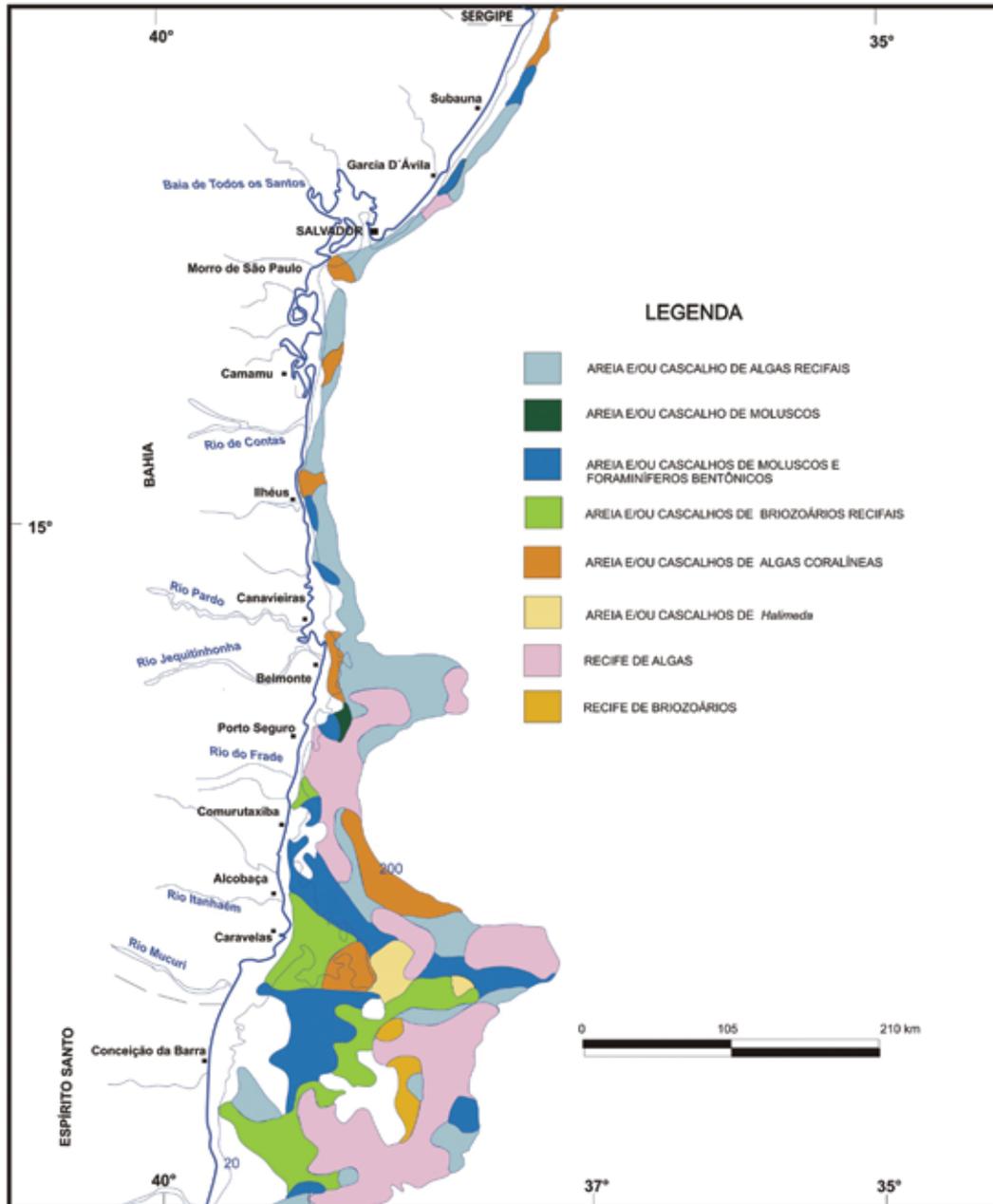


Figura 3.12 - Distribuição dos sedimentos carbonáticos na plataforma continental leste do Brasil. Adaptado de Projeto REMAC (1979).

As áreas explotáveis de granulados bioclásticos na plataforma continental brasileira são limitadas em função da profundidade e dos teores de mistura com areias quartzosas. Além disso, apenas as formas livres, ou seja, rodolitos, nódulos e fragmentos, têm viabilidade econômica, pois formam depósitos sedimentares inconsolidados, facilmente lavrados por dragagens.

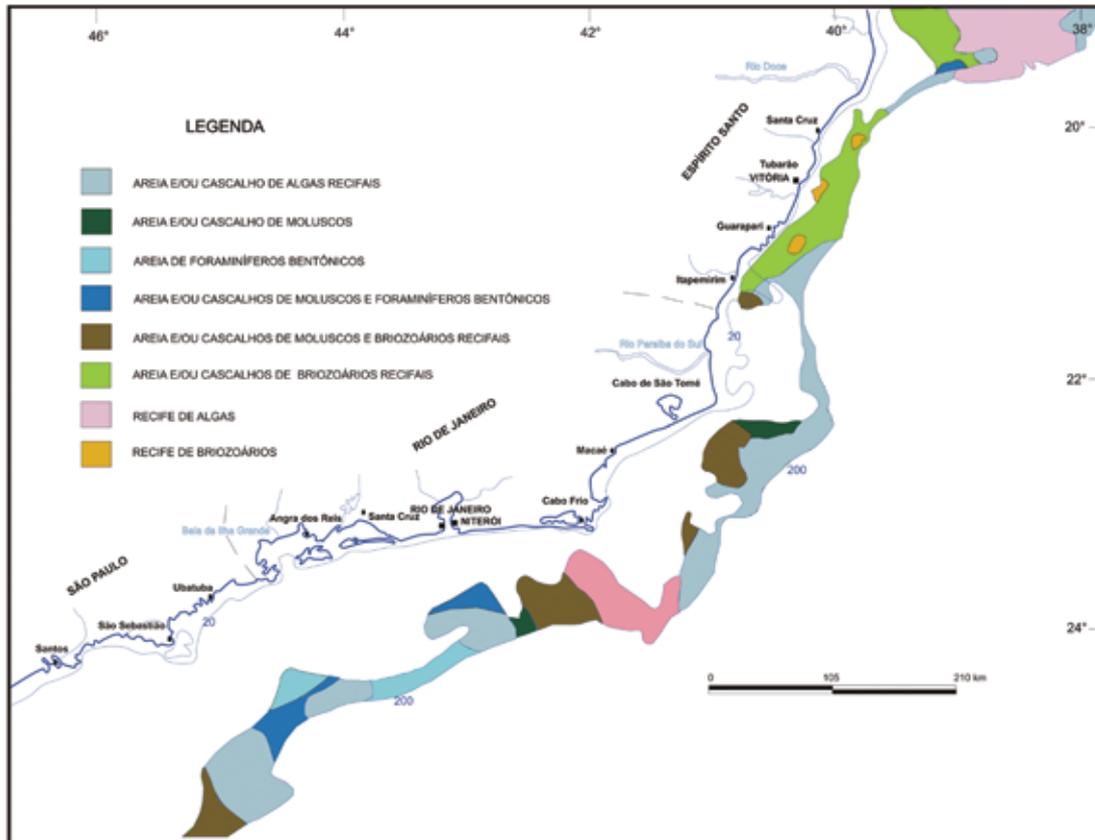


Figura 3.13 - Distribuição dos sedimentos carbonáticos na plataforma continental sudeste do Brasil. Adaptado de Projeto REMAC (1979).

Mont'alverne & Coutinho (1992) estimaram reservas de $1,96 \times 10^9$ toneladas de carbonatos na plataforma continental de Pernambuco, considerando a isóbata entre 20 e 30 metros e uma espessura média 1,5 metros.

Ivan Santana (1979, 1999) estimou reservas da ordem de $2,0 \times 10^{11}$ toneladas de carbonato para a margem continental nordeste e leste do Brasil até a altura de Cabo Frio (lat. 23°S), com teores de CaCO_3 superiores a 75%, considerando uma espessura média de 5 metros, correspondendo, na época, a mais de 50 vezes a reserva estimada do continente.

Os depósitos de calcário bioclástico da plataforma continental interna do Rio Grande do Sul estão vinculados a antigas linhas de praia de alta energia, principalmente aqueles relacionados às regiões de Albardão e Carpinteiro, podendo representar um potencial econômico da ordem de $1,0 \times 10^9$ toneladas. (Martins, 1972; Callari *et al*, 1999 *apud* Martins & Souza, 2007)

As reservas medidas de granulados bioclásticos marinhos aprovadas pelo DNPM são da ordem de 962.330.131 toneladas, distribuídas nos estados do Espírito Santo, Bahia e Maranhão (Tabela 3.2).

	RESERVAS MINERAIS (t)			
	BAHIA	ESPÍRITO SANTO	MARANHÃO	TOTAL
MEDIDA	9.556.000	296.124.636	656.649.495	962.330.131
INDICADA	24.292.000	233.279.000		257.571.000
				1.219.901.131

Tabela 3.2 – Reservas de granulados bioclásticos marinhos. Fonte: DNPM.

O granulado bioclástico é um recurso importante devido a seus inúmeros usos e utilizações a seguir descritos.

- Na agricultura é utilizado como complemento na fertilização do solo, permitindo uma redução no uso de fertilizantes, nutrindo as plantas com micro e macro nutrientes essenciais ao bom desenvolvimento vegetal e aumentando a produtividade.
- Na pecuária leiteira e de corte e na criação de frangos e porcos, melhora a saúde dos animais, seu ciclo reprodutivo e a qualidade dos derivados (carne, leite e queijos). A utilização de 200g/dia cobre 60% do déficit causado pela produção de leite e 100% das necessidades de iodo do rebanho.
- Na Europa é amplamente utilizado no tratamento de água potável e esgotos domésticos e industriais, possuindo a capacidade de neutralizar e mineralizar a água, servindo como filtro para metais pesados.
- Utilizado como complemento alimentar e como agente antiácido. O consumo de 3g/dia cobre totalmente as necessidades de um adulto em Cálcio (Ca) e Iodo, 80% do Fe e mais 20% do Mg. O FDA aprovou seu uso como complemento nutricional em alimentos, podendo sua adição atingir até 0,5 % em peso. No Brasil o seu uso como complemento alimentar já foi aprovado pelo Ministério da Saúde.
- Em biotecnologia é utilizado como potencializador e catalizador do crescimento de bactérias específicas para diversos tipos de tratamentos.
- É utilizado na criação de peixes e de crustáceos, melhorando a qualidade do ambiente e da água com a redução de fungos e bactérias, permitindo uma melhoria no ganho de peso dos animais. A recomendação básica é de 1 ton/ha de lâmina d'água.
- É utilizado como implante em cirurgia óssea, através da biocerâmica Hidroxapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), fabricada pela substituição do carbonato do material algálico por fosfatos, oferecendo um equilíbrio estrutural, químico e biológico quase perfeito com os tecidos ósseos (Dias, 2000).
- Na indústria cosmética é utilizado na fabricação de dentifrícios e sais de banhos e ainda como cataplasmas e *envelopments* nos centros de estética ou de talassoterapia (Dias, 2000).
- É utilizado como componente em um sistema de filtração de gases de combustão, desenvolvido na Espanha, cujos resultados superam as exigências das autoridades ambientais mundiais.

O maior exemplo de utilização desses granulados está na França, com o *mäerl*, dragado na plataforma continental francesa, que foi o responsável pela correção da acidez da quase totalidade dos solos naquele país. Hoje, a utilização do *mäerl* não se restringe somente ao fertilizante, sendo utilizado como suplemento alimentar na pecuária, na reciclagem de estações de tratamento de águas residuais e como matéria-prima na composição de produtos farmacêuticos ou cosméticos. A extração de *mäerl* intensificou-se rapidamente durante a segunda metade do século XX, atingindo 600.000 toneladas por ano na década de setenta do século passado, e após a introdução de quotas de extração, ficou em torno de 500.000 toneladas por ano a partir do início da década de oitenta do século passado. A extração de *mäerl* é uma das principais atividades da indústria francesa de algas, tanto em termos de tonelagem quanto de faturamento. No Reino Unido a produção é dez vezes menor, da ordem de 30.000 toneladas/ano, sendo praticada em um único local, o estuário do rio Fal, Cornwall. Na tabela 3.3 são apresentados dados de produção de granulados carbonáticos em países da Europa e América do Norte.

País	Produção por ano (m ³)			
	2006	2007	2008	2009
Dinamarca	2.300			3.000
França	495.000	495.700	496.500	501.000
Irlanda	11.900			
Islândia				81.205
Holanda	247.345	243.280	230.555	263.283
Estados Unidos			19.114	
	756.545	738.980	746.169	848.488

Tabela 3.3 – Produção de granulados carbonáticos marinhos, incluindo bioclásticos e *mäerl*, em alguns países da Europa e América do Norte. Fonte: ICES WGEXT Report (2007; 2008; 2009 e 2010).

A produção de calcário a partir de depósitos marinhos ainda é relativamente pequena. Fora da Europa, exemplos de depósitos marinhos que já foram ou são minerados incluem areias de aragonita em águas rasas ao largo de Andros, Bimini e Eleuthera nas Ilhas Bahamas. Nos Estados Unidos, granulados bioclásticos são ou já foram dragados em áreas da costa do golfo (Alabama, Flórida, Louisiana, Mississippi e Texas), da costa leste (Maryland e Virgínia) e da costa oeste (Califórnia). Na Islândia, em *Faxa Bay*, ocorre recuperação de bioclóstos em até 35 metros de profundidade para produção de cimento e fertilizantes.

3.1.3 – Depósitos de Pláceres (*placers*)

Depósitos de pláceres são acumulações sedimentares formadas de minerais detríticos concentrados mecanicamente, originados da decomposição e erosão de rochas-fonte consolidadas, principalmente as ígneas. Esses minerais podem permanecer *in situ* ou serem transportados e concentrados em areias e cascalhos de rios e praias, são conhecidos como *minerais pesados* e, usualmente, possuem valor econômico, incluindo ouro nativo, platina, cassiterita (estanho), rutilo e ilmenita (titânio), magnetita (ferro), zircão (zircônio), wolframita (tungstênio), cromi-

ta (cromo), monazita (cério e tório) e pedras preciosas (diamante). Os rios e as geleiras são os principais agentes transportadores destes minerais para a região costeira.

Por definição, minerais pesados são os que têm peso específico maior que o dos minerais mais comuns em rochas sedimentares, tais como o feldspato e o quartzo, com valores em torno de $2,6\text{g/cm}^3$, caracterizando-se por pesos específicos entre $2,9$ a 21g/cm^3 .

Emery e Noakes (1968) classificam os minerais pesados com base nas diferenças de densidade que determinam locais preferenciais de concentração dos mesmos, ou seja, os pláceres são compostos por minerais pesados “pesados” (peso específico entre 21 e $6,8\text{g/cm}^3$), por minerais pesados “leves” (peso específico entre $5,3$ e $4,2\text{g/cm}^3$) e por gemas (peso específico entre $4,1$ e $2,9\text{g/cm}^3$). Os minerais pesados “pesados” são aqueles em que os elevados pesos específicos opõem resistência ao deslocamento por grandes distâncias, concentrando-se, predominantemente, em canais fluviais, transportados apenas por curtas distâncias, 15 a 20 km da rocha-fonte, sendo representados pelo ouro, a platina e a cassiterita. Os minerais pesados “leves”, por seu peso específico relativamente baixo, são mais facilmente transportados às zonas costeiras, concentrando-se em ambientes de deposição de alta energia, compreendendo, principalmente, a ilmenita, o rutilo, o zircão, a monazita e a magnetita. As gemas são minerais de baixa densidade e elevada dureza, em que se destaca o diamante, que se concentram, principalmente, em aluviões, mas também em praias e na plataforma continental.

Os mais importantes depósitos de pláceres marinhos estão localizados nas praias atuais, ou foram formados em decorrência da variação do nível do mar durante o Quaternário. Os minerais pesados são transportados até a região costeira e concentrados, pela ação das ondas e correntes marinhas, originando os pláceres de praia. As acumulações *offshore* ou pláceres marinhos submersos normalmente têm origem relacionada às oscilações do nível do mar, provocando períodos de exposição durante as regressões e afogamento durante as transgressões, de extensas áreas da atual plataforma marinha. O máximo da última fase regressiva ocorreu a 18.000 anos, quando a linha de costa situava-se nas proximidades da quebra da plataforma continental, cuja profundidade atual está entre 75 a 120 metros.

Pláceres marinhos importantes ficaram preservados nos antigos canais dos rios associados a depósitos fluviais, que recobriam grande parte da plataforma continental, exposta durante as fases regressivas e foram, posteriormente, afogados pela transgressão marinha no final do Pleistoceno e início do Holoceno. Outras acumulações marinhas submersas igualmente importantes são resultantes do transporte e retrabalhamento dos minerais detríticos pelas correntes de fundo, em regiões de alta energia, concentrando-os em irregularidades do fundo submarino.

Os depósitos de pláceres são explorados em praias e plataformas continentais em várias regiões do mundo, ou seja, ouro nas praias do Alasca, rutilo e zircão em praias da Austrália e Sri Lanka, diamantes em praias e plataforma continental da Namíbia e África do Sul, magnetita no Japão e Nova Zelândia, ilmenita em

praias da Índia e Estados Unidos, Cassiterita na plataforma continental da Tailândia, Malásia e Indonésia. Na tabela 3.4 estão representadas algumas das principais ocorrências de pláceres marinhos, sua composição mineralógica e utilização.

Bem Mineral	Utilização Principal	Ocorrência
Ouro	Ornamento	Alaska, Nova Zelândia, Gana, Filipinas, Chile e Argentina
Diamante	Jóias, Corte	África do Sul, Namíbia, Austrália, Indonésia
Cassiterita	Cobertura metálica	Indonésia, Malásia, Tailândia, Austrália, Tasmânia, Inglaterra, Mianmar
Rutilo	Pigmento, metal	Austrália, Sri Lanka, Índia, China, EUA
Ilmenita	Pigmentos	África do Sul, Índia, Austrália, Sri Lanka, Senegal, Flórida, Madagascar, Moçambique, Brasil, EUA, China.
Magnetita e Zircão	Aço, Refratários, opacificante cerâmico	Nova Zelândia, Indonésia, Filipinas, Japão, Austrália, Índia, EUA, Brasil, Sri Lanka
Granada	Abrasivos	Austrália, Índia
Monazita	Catalizadores	Austrália, Índia, China, Madagascar, Brasil
Silimanita	Refratários	Índia
Apatita	Fertilizantes	Perú, Chile
Cromita		Indonésia

Tabela 3.4 – Ocorrências de pláceres de minerais pesados no mundo. Adaptado de Silva (2000).

A exploração dos depósitos de pláceres *offshore* no continente Africano é pouco desenvolvida, excetuando a grande província de diamantes aluvionares que engloba as praias e a plataforma continental adjacente, com cerca de 100 metros acima e pelo menos 500 metros abaixo do nível do mar, estendendo-se por 450 km a sul e 300 km a norte do atual rio Orange que circunda a Namíbia e a África do Sul. A exploração dos depósitos de diamantes em áreas da plataforma continental e talude da África do Sul e Namíbia já ocorre em lâmina d'água de até 500 metros, o que só foi possível devido aos altos investimentos em tecnologia de exploração, que foram recompensados pela qualidade e quantidade dos diamantes extraídos. Os depósitos de diamantes foram descobertos de 1908 e até 1961 somente eram extraídos de praias atuais e terraços antigos. A mineração de mar aberto em águas rasas prosseguiu até 1971, quando grandes companhias mineradoras começaram a exploração em águas profundas e já no final da década de 1990 a exploração de diamante da Namíbia e África do Sul atingiu a isóbata de 500 metros (Garnett, 2000a).

Depósitos de pláceres contendo titânio, tório, terras raras e zircônio têm sido explorados na costa sudeste de Madagascar. Na região costeira de Moçambique, destacam-se *Corridor Sands* (73 milhões de toneladas de ilmenita) e *Moma* (cerca de 60 milhões de toneladas de ilmenita), ambos em desenvolvimento e considerados os maiores depósitos de TiO_2 do mundo (Rona, 2008).

Os depósitos de ouro da praia de Nome, no Alaska, foram descobertos em 1900, tendo a extração de ouro, inicialmente, se desenvolvido nas praias atuais migrando para praias antigas no interior do continente. A exploração em mar aberto começou em 1987 tendo produzido cerca de três toneladas de ouro, com

uma taxa de recuperação de 824 mg/m³. Todas as operações foram paralisadas em 1990, com uma produção total de 140 toneladas até esta data. Os depósitos são de origem glacial, retrabalhados por ondas, correntes e marés, em praias e na plataforma continental interna (Garnett, 2000b).

Depósitos de cassiterita marinhos são explorados desde 1907, na plataforma continental da Tailândia e Malásia, em lâmina d'água de até 50 metros. São pláceres de origem aluvionar que ocorrem tanto sobre terraços de abrasão marinhos quanto associados a canais fluviais soterrados pela sedimentação atual da plataforma continental, formados durante a transgressão marinha do final do Pleistoceno e início do Holoceno. Estão em desenvolvimento tecnologias para aumentar a profundidade de dragagem limitada a 50 metros (Batchelor & Surawardi, 2008).

Numerosos depósitos de minerais pesados (rutilo, ilmenita, magnetita, zircão, granada e monazita) estão presentes em praias e na plataforma continental do subcontinente indiano e da República Popular da China (Rajamanickam, 2000; Tan *et al*, 1996 *apud* Rona, 2008).

Os depósitos de pláceres marinhos ricos em magnetita titanífera do sudeste do Japão foram explorados de 1950 até o início de 1970, em águas com profundidade entre 10 e 40 metros.

Na Oceania, minerais de titânio (rutilo e ilmenita) são extraídos de pláceres de praia do sudeste e sudoeste da Austrália, mas o restante da costa australiana é relativamente inexplorado para tais depósitos. Pláceres ricos em magnetita foram minerados na costa noroeste da Nova Zelândia (Ilha do Norte) e na Indonésia (Kudrass, 2000).

A mineração de zircão, rutilo e ilmenita ocorre, principalmente, em praias atuais e antigas, em países como a Austrália, os Estados Unidos, o Brasil, o Sri Lanka e a Índia. A *Iluka Resources Limited*, de origem australiana, detém as principais reservas de minerais pesados da Austrália, do Sri Lanka e dos Estados Unidos, tendo, em 2009, produzido 532 mil toneladas de rutilo, 839 mil toneladas de ilmenita e 263 mil toneladas de zircão, valores, em média, 26,3 % inferiores a 2008, devido à significativa diminuição da demanda em virtude da crise mundial iniciada no final de 2008 (www.iluka.com).

Depósitos de minerais pesados (ilmenita, rutilo, monazita e zircão), emersos e submersos, estão presentes ao longo de quase toda a zona costeira brasileira, desde o Pará até o Rio Grande do Sul. Somente na porção emersa da zona costeira há ou já houve mineração nos estados da Paraíba, da Bahia, do Espírito Santo e do Rio de Janeiro. Em Barra de Itabapoana (RJ) e Mataraca (PB) estão em operação lavra e beneficiamento industrial desses depósitos, produzindo concentrados de ilmenita, monazita, rutilo e zirconita no Rio de Janeiro e ilmenita, rutilo e zirconita na Paraíba.

O Projeto REMAC identificou na plataforma continental brasileira uma série de concentrações anômalas com teores superiores a 0,5% de minerais pesados na amostra total, sendo a composição mineralógica do concentrado relativamente

constante, ou seja, predomina a ilmenita, seguida de zirconita e monazita. Conforme descrito a seguir:

- Na plataforma continental norte/nordeste, as principais áreas anômalas situam-se anomalias situam-se ao largo de Salinópolis (PA) e no trecho Jaguaribe-Apodi, divisa dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, em que foram identificados teores entre 0,5 e 2,4%;
- Na plataforma continental nordeste/leste, foram identificadas áreas, que apresentaram teores, na maioria das amostras, maiores que 1% de minerais pesados na amostra total, ao largo das desembocaduras dos rios Pardo e Jequitinhonha (BA) e Doce (ES), defronte às cidades de Itapemirim e Guarapará (ES) e Itabaipana (RJ) e finalmente, ao largo do delta do rio Paraíba do Sul (RJ), sendo que, nesta última área foram detectados teores de até 5,2% em paleocanais afogados;
- Na plataforma continental sudeste/sul, foram detectadas áreas anômalas entre Iguape (SP) e Paranaguá (PR), com teores de minerais pesados entre 0,6 a 1,4%, também relacionados à paleocanais afogados. No Rio Grande do Sul, ao largo das lagoas dos Patos e Mirim, ocorrem três áreas com teores de até 2,4 % de minerais pesados em frente à barra de Rio Grande e, as mais importantes, ao largo do Farol de Albardão, distribuídas por cerca de 1200 km², apresentam teores de minerais pesados, localmente, maiores que 1% e de até 5,4%, em uma das amostras analisadas (Palma, 1979).

As ocorrências de ilmenita, monazita e zirconita são conhecidas tanto na faixa emersa quanto submersa da zona costeira brasileira, mas as ocorrências de diamante, rutilo e ouro só foram identificadas em áreas emersas. A prospecção de plácemes marinhos geralmente tem ocorrido pela extensão submarina dos depósitos de praias, sendo a descoberta de acumulações importantes na região litorânea, a primeira indicação da possibilidade de existência de plácemes submarinos. A localização de feições submersas, quais sejam extensões de vales fluviais e praias antigas é considerada como guia para a prospecção de minerais pesados na plataforma continental, cujos melhores prospectos situam-se adjacentes a depósitos emersos já conhecidos.

Na década de setenta, foram executados através de convênio CNEN/CPRM os projetos Cumuruxatiba, no litoral da Bahia, e Buena, no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, englobando a plataforma continental adjacente. No Projeto Cumuruxatiba foi calculada uma reserva de cerca de 171.000 toneladas de ilmenita, 4.000 toneladas de monazita e 3.000 toneladas de zirconita. No Projeto Buena foram calculadas reservas em torno de 758.000 toneladas de ilmenita, 47.000 toneladas de monazita e 365.000 toneladas de zirconita/rutilo (Santana, 1999).

Na década de oitenta, empresas de mineração pesquisaram minerais pesados na costa do Estado do Ceará e apresentaram relatórios finais de pesquisa positivos nas dunas da região litorânea dos municípios de Aracati e Beberibe, desistindo das áreas devido ao baixo preço do titânio no mercado internacional e ao alto custo do projeto para viabilização ambiental da exploração. Na região de Beberibe foram cubadas reservas medidas de mais de 80 milhões de toneladas de

minério. Em estudo realizado na plataforma continental interna do Ceará, a leste de Fortaleza, foi verificado que os maiores teores de minerais pesados ocorrem nas regiões adjacentes aos depósitos emersos já pesquisados e considerados de interesse econômico, ou seja, ao largo dos municípios de Beberibe e Aracati. (Cavalcanti *et al*, 1993)

No início da década de noventa, foram identificados importantes depósitos de minerais pesados nas dunas recentes da restinga da laguna dos Patos, zona costeira do Rio Grande do Sul. Os depósitos foram pesquisados por empresas de mineração, que calcularam reservas da ordem de 700 milhões de toneladas de minério. No município de São José do Norte existem várias áreas tituladas junto ao DNPM, em fase de requerimento de lavra, para minério de titânio e zircônio. Ao largo das lagoas dos Patos e Mirim foram identificados teores anômalos de minerais pesados durante o Projeto REMAC, conforme já mencionado.

Áreas potenciais para prospecção de diamante estão localizadas ao largo das desembocaduras dos rios Pardo-Salobro e Jequitinhonha, no litoral sul do Estado da Bahia, em paleocanais afogados ou em sedimentos de origem fluvial retrabalhados pelo mar.

Na região entre os rios Gurupi e Turiaçu, na zona costeira do Estado do Maranhão, os depósitos de placeros litorâneos são mineralizados em ouro, tendo sido calculados teores da ordem de $3,0 \text{ g/m}^3$ de material lavrado (Santana, 1999). Logo, a área ao largo das desembocaduras dos rios Gurupi e Turiaçu, na plataforma continental do Maranhão, pode ser considerada como favorável para prospecção de ouro.

3.1.4 – Fosforita

A principal utilização do fosfato é como fertilizante na agricultura, tendo, porém, outros usos industriais importantes, como na indústria alimentícia, em que é utilizado como componente de quase todos os tipos de refrigerantes, na forma de ácido fosfórico.

Fosforitas marinhas compostas por cálcio-fluorapatita ocorrem em variados tamanhos desde areia até matacões e são descritas na bibliografia como ocorrentes nas margens continentais do México, Peru, Chile, Austrália, Nova Zelândia, Estados Unidos e oeste da África, tendo algumas delas recebido atenção comercial (Figura 3.14).

Acumulações de fosforitas são conhecidas especialmente nas plataformas continentais e parte superior do talude continental em muitas partes do mundo, a profundidades menores de 500 metros e normalmente situadas, com pequenas exceções, entre as latitudes 40° N e 40° S (Martins & Souza, 2007). Embora sejam os depósitos mais bem estudados apresentam, em sua maioria, baixo teor e pequena espessura. Um exemplo típico é a margem continental Peru-Chile.



Figura 3.14 – Amostra de fosforita com teor de 15-18% de P_2O_5 , coletada na plataforma continental do Marrocos, apresenta dimensão máxima de 12 cm. Fonte: Summerhays, 1998.

Fosforitas também ocorrem extensivamente sobre platôs e cordilheiras submarinas, entre os mais estudados estão o platô Blake, ao largo do sudeste dos Estados Unidos, e Chathan Rise, no leste da Nova Zelândia. Ambos os depósitos apresentaram resultados bastante significativos, tendo sido cubadas em Chathan Rise reservas da ordem de 70 milhões de toneladas de P_2O_5 , em lâmina d'água de 350 a 450 metros com teores de P_2O_5 da ordem de 22%, o que poderá torná-lo comercialmente viável no futuro (Hein & Rona, 2008).

Outro tipo de depósito, o subaéreo insular, que se forma em ilhas e atóis, já foi explorado em muitos lugares, principalmente durante a Segunda Guerra Mundial. Na ilha de Nauru ainda há mineração de fosfato neste tipo de depósito.

No Brasil, durante os trabalhos do Projeto REMAC, foram recuperados no Platô do Ceará, sedimentos inconsolidados entre 305 e 270m e entre 1.371 e 390m, com teores de até 18,4% de P_2O_5 (Menor *et al*, 1979). Também foram descritas ocorrências de fosforita em concreções na plataforma continental do Rio Grande do Sul, a profundidades de 500 a 600 metros, com teores de 15 a 16% de P_2O_5 (Klein, 1992).

A questão principal com relação à viabilidade da mineração de fosforita marinha é que as fontes continentais são ainda suficientes para suprir a demanda e o preço dos mercados globais é normalmente baixo o bastante para inibir a mineração no mar. No entanto, a partir de 2007 os preços no mercado mundial subiram significativamente, o que deve tornar a mineração *offshore* mais atraente. Tecnologias disponíveis podem ser utilizadas na extração, mas estudos ambientais sobre os impactos da mineração de fosfato marinho ainda são muito limitados. Embora uma combinação de fatores incluindo preço de mercado e custo de extração ainda esteja inviabilizando sua exploração, os depósitos de mar aberto podem vir a oferecer uma alternativa futura, principalmente, para regiões pobres em fosfato.

3.1.5 – Sais (evaporitos)

Evaporitos são rochas sedimentares constituídas por camadas de minerais salinos, depositados diretamente de salmouras em condições de forte evaporação e precipitação em bacias de sedimentação restritas, quentes e subsidentes. Tais depósitos de sais podem ser tanto de origem continental como marinha, em situação em que haja aporte periódico de água salgada.

Os depósitos evaporíticos estão distribuídos em quase todas as margens continentais do mundo, como mostra a figura 3.15. Existem depósitos significativos no Golfo do México e em regiões ao largo do oeste da África e leste do Brasil, no sul do Mar do Norte, Egito e Oriente Médio. O sal foi depositado em estágios iniciais de abertura do Atlântico Norte no Jurássico (205 a 142 milhões de anos atrás) e do Atlântico Sul no Cretáceo (121 a 112 milhões de anos atrás).



Figura 3.15 – Principais depósitos de sais distribuídos no mundo. Fonte: Botelho, 2008.

Os evaporitos da margem continental do Brasil foram formados no final do Aptiano, em eventos sedimentares relacionados à formação do Oceano Atlântico Sul, que possibilitou a expressiva deposição evaporítica na margem continental leste, devido a uma barreira formada no Neo Aptiano, que impediu a livre circulação das águas marinhas que, em associação a um clima árido/semi-árido criou condições para um aumento da concentração e precipitação dos minerais evaporíticos. Com isso, ao norte da barreira representada pela Dorsal de São Paulo formou-se uma extensa bacia evaporítica com mais 1.500 km de extensão e até 500 km de largura (Dias, 2008).

Nas bacias sedimentares marginais brasileiras, os evaporitos são constituídos por depósitos de anidrita, gipsita, halita e sais de potássio e magnésio, estendendo-se desde o Platô de São Paulo, ao sul, até a Bacia de Sergipe-Alagoas, ao norte, ocorrendo na porção emersa de algumas destas bacias marginais, como na bacia do Espírito Santo e na de Sergipe-Alagoas. A largura máxima é no extremo sul, na altura de Santos, onde se estende por cerca de 650 km até o Platô de São Paulo. Em geral, o sal ocorre tanto estratificado quanto formando domos e outras estruturas diapíricas (Rocha, 1979).

Embora presentes em praticamente todas as bacias da margem leste, os evaporitos somente foram estudados sistematicamente nas bacias de Sergipe e Espírito Santo em projetos de pesquisa mineral executados, nas décadas de setenta e oitenta, pela extinta PETROMISA (Petrobrás Mineração S.A).

Na bacia de Sergipe-Alagoas, os evaporitos distribuem-se tanto no continente quanto na porção submersa, ocorrendo estratificado ou formando almofadas. A ocorrência dos evaporitos é reduzida na plataforma continental, ocupando, principalmente, os baixos estruturais controlados por falhas da fase rifte da bacia, estando, aparentemente, ausentes em águas profundas. No entanto Mohriak (1995) identificou feições sísmicas que sugerem a presença de evaporitos também nessas águas (Souza-Lima, 2008).

Na porção emersa da bacia de Sergipe-Alagoas, na região de Taquari-Vassouras em Sergipe, encontra-se a única mina de sais de potássio em operação no Brasil, em que o potássio é extraído da silvinita, minério constituído por quantidades variáveis de silvita (KCl) e halita (NaCl). Segundo Rocha (1979), na plataforma continental de Sergipe, ao largo de Aracaju, três poços perfurados pela Petrobras detectaram, além da halita, a presença de sais de potássio e de magnésio (silvinita e carnalita) com espessura de 15 a 50 metros, em profundidade pouco inferior a 3000 metros.

São conhecidas ocorrências de domos de sal na margem continental brasileira ao norte de Abrolhos e em Mucurí, no sul da Bahia, em Barra Nova e na foz do rio Doce, no Espírito Santo. Ao norte de Abrolhos foram identificados três domos localizados entre 60 e 70 km da costa, com lâmina d'água entre 20 e 35 metros, com o topo do sal a cerca de 300 metros de profundidade. Em Mucurí, ocorrem dois domos situados entre 20 e 25 km da costa, em lâmina d'água de 20 a 25 metros, sendo um quase aflorante e outro com o topo a cerca de 800 metros de profundidade. Em Barra Nova, há ocorrência de sete domos localizados entre 20 e 25 km da costa, sob lâmina d'água de 30 a 55 metros, tendo um deles o topo quase aflorante e os demais entre 106 até 900 metros de profundidade. Na foz do rio Doce, são conhecidas ocorrências situadas entre 30 e 50 km da costa, sendo um domo quase aflorante e em lâmina d'água de 15 metros e outros seis domos sob lâmina d'água de 35 a 70 metros, com o topo do sal a cerca de 270 a 800 metros de profundidade (Santana, 1999).

O Brasil produz menos de 10 % do potássio necessário para suprir o mercado interno de fertilizantes, proveniente da mina de Taquari-Vassouras, em Sergipe. As ocorrências de domos de sal conhecidas nas regiões a norte de Abrolhos e Mucurí, na plataforma continental sul da Bahia, em Barra Nova e na foz do rio Doce, no Espírito Santo, podem vir a constituir-se em áreas economicamente interessantes para pesquisa, em virtude tanto de sua localização em lâmina d'água rasa quanto da pouca profundidade dos topos dos domos, alguns quase aflorando no fundo marinho. Para completar o quadro favorável, estão localizados próximos da costa e dos grandes mercados consumidores nacionais, além do que o processo de extração possui tecnologia conhecida e os custos de produção não são inviáveis. A partir do início de 2009, foram requeridas centenas de áreas para pesquisa de sais de potássio nas plataformas continentais de Sergipe, Bahia, Espírito Santo e São Paulo.

3.1.6 – Enxofre

Depósitos de enxofre marinho ocorrem em áreas de ambiente redutor, particularmente no sopé continental ou em bacias evaporíticas, principalmente aquelas portadoras de hidrocarbonetos.

O enxofre tanto pode ocorrer sob a forma estratiforme quanto associado às rochas que capeiam os domos de sal. Segundo Carvalho (1987 *apud* Florêncio, 2008), quando associados a domos de sal, os depósitos de enxofre podem ser originados pela redução do sulfato da gipsita ou da anidrita, por bactérias anaeróbicas em presença de hidrocarbonetos, sendo o enxofre nativo precipitado com a oxidação causada pelas águas em circulação.

No Golfo do México, mais precisamente, na costa da Luisiana (EUA), o enxofre ocorre em rochas capeadoras de dois domos de sal, já tendo sido extraído em profundidade, por dissolução, através do processo *Frasch*. Em 2000, a produção foi paralisada devido aos baixos preços do enxofre no mercado internacional, em virtude da co-produção de enxofre de outras atividades industriais, como o refino de petróleo e a produção de metais não-ferrosos.

Domos e outras estruturas evaporíticas estão presentes na margem continental brasileira desde Sergipe até o platô de São Paulo. Rocha (1979) considera os domos da plataforma continental do Espírito Santo como os que podem despertar interesse imediato para pesquisa de enxofre, tanto pela profundidade e proximidade da costa quanto pela similaridade com aqueles localizados no Golfo do México. O mesmo autor, baseado no estudo de seções sísmicas, mapas gravimétricos e poços da Petrobras, afirma que os domos da foz do rio Doce são os que apresentam melhores condições para a formação de espessa rocha capeadora, fator indispensável à ocorrência de grandes jazidas de enxofre.

O enxofre é utilizado em vários setores industriais, mas seu principal uso é na indústria de fertilizantes. O Brasil importa mais de 80 % do enxofre que consome, não possui reservas continentais significativas, ocasionando a inexistência de solução, em curto prazo, que torne possível produzir o suficiente para atender as expectativas do mercado interno. A margem continental brasileira possui uma ampla bacia evaporítica, com seu complexo de domos salinos, que contém sequências sedimentares portadoras de hidrocarbonetos, o que torna estas áreas atraentes para a pesquisa de enxofre, sendo importante frisar a existência de tecnologia de lavra comprovadamente eficiente para a recuperação deste bem mineral.

3.1.7 – Carvão

O carvão mineral é uma rocha formada a partir da decomposição de vegetais que sofreram soterramento e compactação em bacias sedimentares pouco profundas, ocorrendo mais freqüentemente em rochas do Carbonífero, muito embora esteja presente em camadas depositadas desde o Paleozóico até o Terciário.

As plataformas continentais do Reino Unido, Japão, Canadá e Austrália possuem importantes reservas de carvão, normalmente formando prolongamentos de depósitos continentais adjacentes. A mineração de carvão em áreas submari-

nas é desenvolvida desde a primeira metade do século 20, sendo realizada por métodos convencionais de lavra subterrânea, pela extensão de galerias a partir do continente até as camadas mineralizadas sob o fundo marinho.

No Brasil, as principais reservas de carvão estão localizadas nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no Permiano da bacia do Paraná. Projetos executados pelo convênio DNPM/CPRM, na zona costeira entre Ararandá (SC) e Tramandaí (RS), identificaram, em alguns poços perfurados, até dez camadas de carvão entre as profundidades de 700 e 800 metros, totalizando espessura de mais de 9,0 metros, devendo ser destacada a ocorrência de camadas individuais com espessuras variando de 1,14 a 2,60 metros, com carvão dos tipos energético e metalúrgico (Santana, 1999).

Como na região limítrofe dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul a bacia do Paraná se estende em direção à plataforma continental, existem grandes possibilidades de que as camadas de carvão se estendam nesta direção sob o fundo marinho, fato corroborado por dados de projetos executados na porção emersa, que indicam que as mais espessas camadas de carvão devem ocorrer na porção submersa (Santana, 1999). Porém são dados preliminares e somente a realização de estudos geológicos sistemáticos poderá possibilitar uma avaliação mais consistente sobre a viabilidade da exploração mineral nessas áreas.

Existe uma quantidade apreciável de carvão sob a plataforma continental em todos os continentes, mas sua extensão ainda não é conhecida. Perfurações realizadas pela indústria de petróleo no Mar do Norte confirmaram a presença de camadas de carvão, do Permiano, em quantidades significativas e de boa qualidade a profundidade de 7.000 metros abaixo do fundo marinho (Martins & Souza, 2007). A exploração desses depósitos, ainda, é inacessível com a tecnologia atual de extração de carvão, constituindo-se em reservas futuras quando existirem tecnologias de lavra mais avançadas.

3.2 – Recursos Minerais de Aproveitamento Futuro

3.2.1 – Hidratos de Gás

Os hidratos de gás (*hydrates*) constituem uma forma pouco comum de ocorrência do gás metano, em que este aparece aprisionado em células de gelo conhecidas como clatratos, cujo aspecto lembra neve úmida. Na verdade trata-se de um composto cristalino em que moléculas de água encapsulam moléculas de gás como o metano. Apesar da ausência de ligações químicas entre hospedeiro (água) e hóspede (gás), a estrutura estável do clatrato faz com que as moléculas de águas não passem ao estado líquido até temperaturas bem acima de 0°C, desde que a pressão predominante e a concentração de gases sejam suficientemente altas, sendo estas condições encontradas em sedimentos marinhos nas margens continentais em que a lâmina de água é superior a aproximadamente 500 metros (Clennell, 2000).



Figura 3.16. Amostra de hidrato de gás coletada no Canyon do Mississippi, Golfo do México. Fonte: <http://soundwaves.usgs.gov/2002/09>

A origem desses gases é atribuída à atividade bacteriana desenvolvida sobre matéria orgânica do fundo oceânico, em situações ambientais de alta pressão e de baixa temperatura (inferior a 5°C), comumente encontradas em grandes extensões das margens continentais. Os hidratos de gás também são encontrados em solos congelados das regiões polares, em que são gerados na superfície da Terra.

Os depósitos de hidratos de gás ocorrem nos declives continentais de margens passivas, nas zonas de subducção, em dobramentos e vales entre a linha de costa e as cordilheiras, acima das placas de subducção e em bacias do tipo *back-arc* (Martins & Souza, 2007).

Os hidratos de metano constituem o maior reservatório de carbono do mundo. A massa total de carbono em hidratos de gás marinho é estimada, mundialmente, em 1.5×10^{16} kg. Esta quantidade de metano, convertida em energia, equivale a duas vezes a reserva total de hidrocarbonetos já descobertos (Buffett, 2000).

Na margem continental brasileira são descritas ocorrências de hidratos de gás na bacia de Pelotas (RS) e na Foz do rio Amazonas. O talude continental brasileiro mostra, ainda, em várias localidades indícios da presença desse recurso mineral, fato bastante possível, uma vez que as condições geológicas adequadas para a formação deste mineral são encontradas em outras áreas ao longo da margem continental.

O aproveitamento dos hidratos de gás como fonte de energia (metano) ainda não é operacional, pois não foi descoberto, até o momento, um processo tecnológico que permita a extração do gás contido em sua estrutura viável economicamente. Além disso, existem algumas questões que precisam ser respondidas antes de qualquer exploração, como a possibilidade da dissociação dos hidratos afetarem a estabilidade dos taludes submarinos ou mesmo se, o gás metano liberado pode entrar na atmosfera estimulando o efeito estufa.

3.2.2 - Nódulos polimetálicos

Nódulos polimetálicos ou nódulos de manganês são concreções centimétricas a densimétricas ricas em metais de valor econômico, tais como manganês, cobre, níquel e cobalto, que cobrem o fundo do mar, geralmente, em profundidades de lâmina d'água entre 4.500 e 5.500 metros (Figura 3.16).

Os nódulos polimetálicos estão distribuídos em todos os oceanos, mas em alguns locais eles são mais abundantes e mais ricos em conteúdo metálico, especialmente na Zona Clarion-Clipperton (CCZ), no centro-leste do Oceano Pacífico, em águas internacionais a sudeste do Havaí; na Bacia Indiana Central (BIC), no Oceano Índico; e na Bacia do Peru, no Pacífico sudeste. Esses podem ser considerados como depósitos potencialmente econômicos (Figura 3.17).

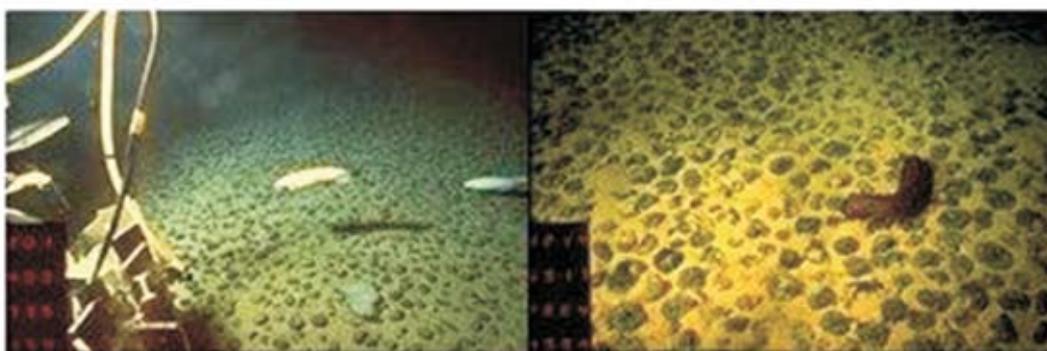


Figura 3.16 – Aspecto do fundo marinho em área de ocorrência de nódulos polimetálicos no Oceano Pacífico.
Fonte: <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Nodules-polymetalliques>

Avaliações preliminares, baseadas apenas em escassos dados de amostragem, sugerem que, pelo menos 34 bilhões de toneladas desses depósitos ocorrem dentro da CCZ, contendo 7,5 bilhões de toneladas de manganês, 340 milhões de toneladas de níquel, 265 milhões de toneladas de cobre e 78 milhões de toneladas de cobalto (Morgan, 2000). O cobre contido representa cerca de 10% das reservas conhecidas no continente. O manganês constitui 25 a 30% dos nódulos de grau superior e sua recuperação poderá vir a ser econômica quando diminuir a oferta das minas terrestres. Avaliações econômicas concluíram que o componente essencial desses depósitos para extração comercial é o níquel, que ocorre em concentrações entre 1,2% e 1,45% nos depósitos da CCZ (Atmanand *et al*, 2006).

A abundância e qualidade dos nódulos tendem a aumentar em áreas mais distantes dos continentes, em que a quantidade de material em suspensão é menor, e a atividade biológica mostra produtividade elevada. Os metais nos depósitos do Pacífico devem ser derivados, principalmente, de sedimentação de granulação fina de materiais inorgânicos que são incorporados a matéria fecal planctônica, posteriormente reduzida através do consumo de biota bentônica e, finalmente, adsorvido a óxido de manganês nas superfícies dos nódulos (Verlaan *et al*, 2004 *apud* Atmanand *et al*, 2006).

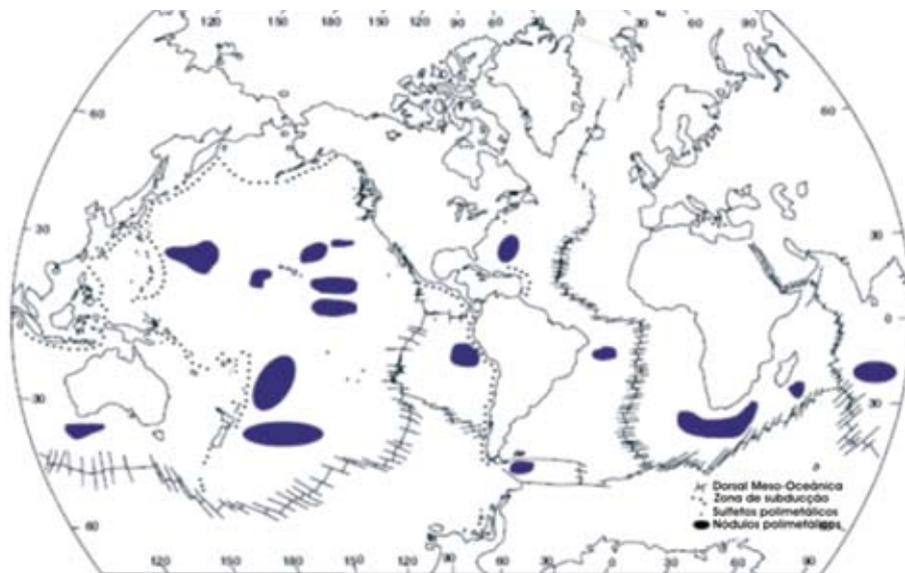


Figura 3.16 – Distribuição dos principais depósitos de nódulos e sulfetos polimetálicos. Adaptado de Atmanand *et al* (2008).

Entre 1974 e 1982, vários consórcios de empresas privadas e organizações governamentais investiram em torno de um bilhão de dólares em pesquisa de nódulos polimetálicos, com resultados insatisfatórios, devido, principalmente a uma combinação de expectativas irrealistas, causadas por avaliações exageradas do potencial do recurso, os elevados custos de extração e os preços das *commodities* minerais. Atualmente, existem oito grupos com contrato com a Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (ISBA), para a exploração em águas internacionais.

Além dos trabalhos de exploração em águas internacionais, está em andamento pesquisa sobre a possibilidade de recuperação de nódulos ricos em cobalto na zona econômica exclusiva das Ilhas Cook, no Oceano Pacífico, em águas mais rasas que a maioria dos depósitos (menos de 5000 m). Uma avaliação preliminar sugere reservas da ordem de 33 milhões de toneladas de cobalto, 24 milhões de toneladas de níquel e 14 milhões toneladas de cobre (Clark *et al*, 1995 *apud* Atmanand *et al*, 2006).

Os depósitos de nódulos polimetálicos do Oceano Atlântico, em geral, não possuem teores em metais comparáveis àqueles encontrados no Pacífico e Índico, principalmente, pela influência da sedimentação terrígena. No entanto são conhecidas ocorrências no Atlântico Sul muito pouco estudadas, pois, até esta data, não houve interesse de consórcios privados ou governamentais em pesquisá-las.

Na zona econômica exclusiva brasileira, já foram identificadas algumas ocorrências, merecendo destaque uma dragagem realizada no platô de Pernambuco a uma profundidade entre 1.750 e 2.200 metros, com recuperação de 150 kg de material, formado predominantemente por nódulos polimetálicos, com a seguinte composição: no núcleo (28% de P_2O_5) e nas camadas concêntricas que envolvem o núcleo (20-30% de manganês, 30% de ferro, 0,6 a 1,5 de cobalto, 0,04 a 0,23 de cobre, 0,08 a 0,53 de chumbo e 0,12% de zinco) (Santana, 1999).

3.2.3 - Crostas ferromanganesíferas

Ocorrem em todos os oceanos, sendo estimado que cubram em torno de 6.350.000 km² ou 1,7% da superfície do oceano. São encontradas sobre os flancos e as cimeiras de montes submarinos isolados, cordilheiras, planaltos, colinas abissais e nos atóis de corais antigos, em que correntes oceânicas mantiveram as rochas livres de aporte sedimentar durante milhões de anos. As crostas são formadas sobre um substrato de rocha dura, em ambientes de massas de águas frias, resultando em pavimentos de até 250 milímetros de espessura (Hein, 2006) (Figura 3.17).

As pesquisas começaram em 1981, na região central do Oceano Pacífico. No período de 1981 a 2000, muitos países como Japão, Estados Unidos, Rússia, Alemanha, França, Coreia, Reino Unido, China, mostraram interesse por estes depósitos.

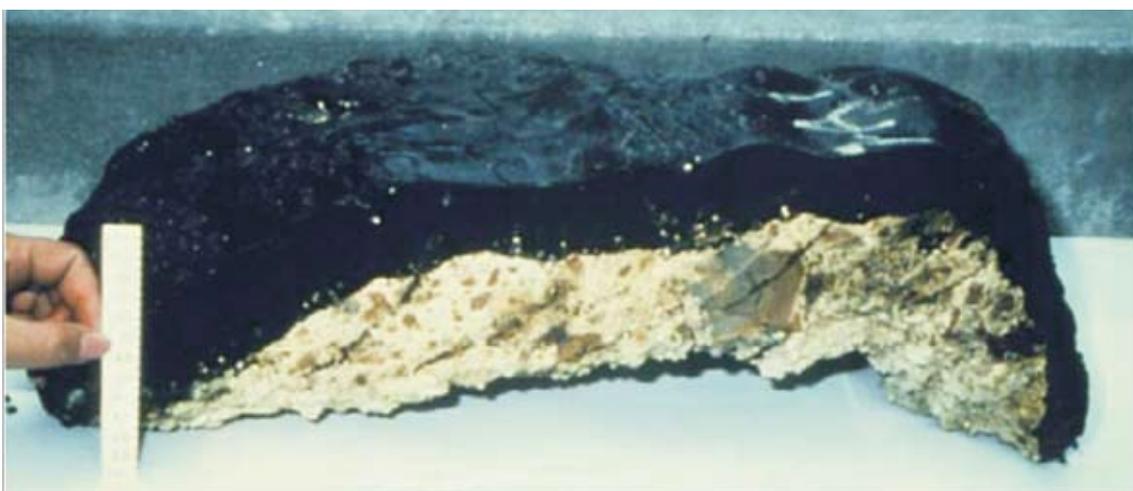


Figura 3.17 – Amostra de crosta ferromanganesífera, Oceano Pacífico. Fonte: Hein, 2006.

As crostas ferromanganesíferas contêm altos teores de ferro e manganês, mas é seu conteúdo em elementos menores que as torna atraentes para uma exploração futura, especialmente os altos teores de cobalto, da ordem de 1%, sendo por isso, denominadas, algumas vezes, de crostas cobaltíferas. Também estão presentes pequenas quantidades de titânio, cério, terras raras, zircônio, níquel, platina, molibdênio, cobre e telúrio, que poderiam ser recuperados como subprodutos.

As profundidades de ocorrência variam de 400 a 4.000 metros de lâmina d'água, mas aquelas mais enriquecidas em cobalto ocorrem geralmente entre 800 e 2200 metros na zona de mínimo de oxigênio. Os principais depósitos descritos estão associados a montes submarinos, cadeias de montanhas e platôs marginais ao longo de todo o Oceano Pacífico, desde as Ilhas Aleutas, no norte até a cordilheira circum-Antártica, no sul (Palma & Pessanha, 2000).

Amostragens realizadas por navios estrangeiros na Elevação do Rio Grande revelaram a presença de crostas cobaltíferas associadas a montes submarinos que ascendem à crista da elevação, entre as profundidades de 800 e 1.500 metros. Esta unidade morfológica está localizada no Atlântico Sul, entre as latitudes 34° e 28°S e as longitudes 28° e 40°W, em área adjacente a PCJB.

3.2.4 - Sulfetos polimetálicos

As primeiras descobertas de concentrações de sulfetos maciços de mar profundo em áreas ativas datam de 1960. São depósitos de lama essencialmente metálicos formados a partir de uma salmoura densa e quente. Em 1978, foram encontrados no *East Pacific Rise* gêiseres ativos de alta temperatura (até 350°C) formando depósitos como montes e chaminés de sulfetos de metais, óxidos, sulfatos e sílica (Figura 3.18). Esses depósitos têm semelhanças com os sulfetos maciços vulcano-gênicos, minério extraído no continente, formados em oceanos antigos a cerca de 2.700 milhões de anos. Elementos de potencial interesse comercial, tanto nos depósitos modernos quanto nos antigos são o cobre, o zinco, o chumbo, a prata, o ouro e o bário (Heydon & Scott, 2006).



Figura 3.18 – Antigas chaminés ricas em cobre e parcialmente oxidadas (foto da esquerda) e chaminés ativas compostas de sulfetos de cobre, zinco e ouro em alta concentração na Ilha de Tonga, sudoeste do Oceano Pacífico (foto da direita). Fonte: <http://wwwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Sulfures>

São conhecidas cerca de 150 áreas ativas e inativas no fundo do mar em todos os oceanos e vários mares. Os depósitos, na sua maioria, estão entre 1.500 e 3.500 metros de profundidade, embora também sejam conhecidas ocorrências em águas mais rasas (Figura 3.16).

A alta concentração de metais preciosos e de base faz com que os depósitos de sulfetos polimetálicos sejam atrativos para investimentos privados e governamentais tanto nas zonas econômica exclusiva de alguns países como nas áreas internacionais, já havendo depósitos de interesse econômico identificados no Oceano Pacífico.

No Atlântico Sul, não há estudos significativos, mas existem evidências de ocorrência de sulfetos polimetálicos ao longo da cordilheira meso-atlântica e nas proximidades do Arquipélago São Pedro e São Paulo, no interior da zona econômica exclusiva brasileira.

A exploração de sulfetos polimetálicos se encontra numa fase ainda inicial, mas os investimentos estão à frente das pesquisas de fosforita, crostas e talvez, até nódulos, pois, atualmente, os sulfetos maciços de mar profundo são considerados mais atrativos pela indústria mineral. Existem duas empresas com investimentos em pesquisa de sulfetos maciços na zona econômica exclusiva de Papua - Nova Guiné, Ilhas Salomão e Tonga, Nova Zelândia, Estados Federados da Micronésia e Vanuatu.

4 – ASPECTOS LEGAIS

O espaço marinho brasileiro e as áreas de jurisdição internacional estão definidos no Capítulo 2. Neste item serão abordadas a política nacional para os recursos do mar e as questões legais referentes à pesquisa e lavra mineral nos limites marítimos nacionais e internacionais, discutindo-se a legislação mineral e ambiental e outras que sejam pertinentes.

Tanto no Brasil quanto em outros países e na Área Internacional, inúmeras questões regulatórias relativas à mineração *offshore* ainda não foram resolvidas, mas são essenciais para que as empresas que têm interesse em fazer este tipo de investimento possam assumir o risco da exploração mineral.

4.1 – Área Internacional dos Fundos Marinhos – Área

A ausência de uma regulação aplicável a esta região provocou inúmeras discussões nos foros políticos internacionais, até a assinatura da Convenção das Nações Unidas sobre Direito do Mar (CNUDM), em 1982, consagrando a criação do espaço marítimo dos fundos marinhos e dotando-o de uma normatização específica. Assim, as bases legais para exploração dos recursos minerais da Área estão previstas na CNUDM, que estabelece que a Área e seus recursos sejam patrimônio comum da humanidade. Os recursos da Área são definidos como todos os minerais sólidos, líquidos ou gasosos superficiais ou subsuperficiais.

A Área é regulada pelas normas estabelecidas na parte XI da CNUDM, em que se encontra o regime de aproveitamento econômico dos seus recursos, as políticas de exploração, além da definição dos órgãos internacionais incumbidos pela supervisão e gestão destas atividades, como a Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (Autoridade).

A Autoridade é uma organização internacional autônoma de caráter supranacional, encarregada de administrar a Área, atuando em nome e no interesse da humanidade. Criada em 1994, quando a Convenção passou a vigorar, a Autoridade entrou em funcionamento em 1996, estando sediada na cidade de Kingston, Jamaica. Ela é composta por uma Assembléia, órgão supremo encarregado de elaborar a política geral sobre os assuntos de competência da Autoridade; um Conselho, órgão executivo composto por uma Comissão de Planejamento Econômico e uma Comissão Jurídica e Técnica; um Secretariado, a quem compete os trabalhos de assessoria nas funções administrativas da Autoridade e pela Empresa, órgão destinado a realizar as atividades de pesquisas diretas na Área em seu nome.

A exploração e o aproveitamento dos recursos da Área podem ser realizados pela Autoridade sob duas formas: execução direta, por intermédio da Empresa, que pode atuar isoladamente ou em parceria com estados membros (*joint ventures*), ou através do regime de concessões, onde estados participantes ou suas empresas, públicas ou privadas, exercem as atividades em associação e sob a supervisão da Autoridade.

A CNUDM de 1982 fortaleceu o princípio da igualdade dos estados na apropriação dos recursos, estabelecendo uma participação equitativa nos benefícios da exploração dos fundos marinhos, considerando as diferenças econômicas e tecnológicas existentes entre as nações. Isto prejudicou os interesses dos países mais ricos e em condições de executar a exploração, pois tanto restringia quanto onerava a exploração dos recursos minerais. Os principais pontos de conflito eram: a obrigação dos eventuais exploradores de financiar e transferir compulsoriamente sua tecnologia para a Empresa (braço operacional da Autoridade); a possibilidade de serem estipuladas limitações de produção mineral que objetivavam proteger os produtores minerais terrestres e o sistema de decisões estava nas mãos do Conselho da Autoridade.

A CNUDM foi ratificada pelo Brasil em 1987, mas somente em 1993 foi alcançado o número de estados necessários para que a Convenção entrasse em vigor, ainda assim, ratificada por países na sua maioria sem condições financeiras e tecnológicas de realizar a exploração marítima e manter o funcionamento da Autoridade.

Em 1994, com o objetivo de ampliar a participação dos países em condições de realizar a exploração mineral na Área, foi adotado pela Assembleia Geral da ONU, o “Acordo Relativo à Implementação da Parte XI da CNUDM”, que trouxe substanciais alterações ao conteúdo aprovado na Convenção de 1982, tentando adequar seu regime aos aspectos econômicos que circundam esta região e que influenciavam na não aceitação por parte das nações mais ricas. Entre as alterações, pode-se destacar a não mais obrigatória transferência de tecnologia entre o explorador e a Empresa e o término da política de limitação da produção da mineração oceânica.

As modificações na parte XI da CNUDM devidas ao Acordo de 1994 implicaram em importantes concessões dos países menos desenvolvidos. No entanto, permaneceu a concepção dos fundos marinhos como herança pertencente a toda a humanidade, os quais serão geridos por intermédio da Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos.

As regras referentes à mineração na Área estão no anexo III da CNUDM, em que constam as condições gerais e básicas para a prospecção, exploração e aproveitamento dos recursos minerais, e no *Regulamento sobre Prospecção e Exploração de Nódulos Polimetálicos na Zona Internacional*, aprovado pela Assembleia em 13/07/2000, aplicável a todas as entidades públicas ou privadas que pretendam explorar os fundos marinhos.

A sistemática adotada prevê as fases de prospecção, exploração e aproveitamento, cada uma possuindo procedimentos diferenciados, destinados a regular e organizar a mineração nos fundos marinhos.

As regras existentes referem-se somente a nódulos polimetálicos. Com relação aos outros recursos da Área como os sulfetos polimetálicos e as crostas cobaltíferas, ainda estão em elaboração os regulamentos para sua exploração e aproveitamento.

4.2 – Mar Territorial, Plataforma Continental e Zona Econômica Exclusiva

4.2.1 - Constituição Federal

O Artigo 20 da Constituição Federal de 1988 define que os recursos naturais do mar territorial e da plataforma continental, bem como os da zona econômica exclusiva, incluem-se entre os bens da União.

O artigo 225 estabelece que: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-la e preservá-la para as presentes e futuras gerações”. Este artigo incumbe ao poder público “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente degradadora do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”. Determina, ainda, que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

4.2.2 – Política Nacional para os Recursos do Mar

A Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) foi instituída em 1980, tendo por finalidade fixar as diretrizes essenciais à promoção da integração do mar territorial, da plataforma continental e da zona econômica exclusiva (ZEE) ao espaço brasileiro e ao aproveitamento sustentável dos recursos do mar, compreendidos os recursos vivos e não-vivos da coluna d’água, solo e subsolo marinhos, bem como das áreas costeiras adjacentes, de acordo com os interesses nacionais, de forma racional e sustentável para o desenvolvimento socioeconômico do país, gerando emprego e renda e contribuindo para a inserção social.

Nas duas décadas transcorridas desde a promulgação da PNRM, o cenário nacional e internacional em relação aos mares, oceanos e zonas costeiras sofreu alterações significativas, particularmente em relação ao arcabouço legal internacional, em função, principalmente, do advento da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) em 1994. Com isso, tornou-se necessária a revisão da PNRM, o que aconteceu com a promulgação do Decreto nº 5.377/2005, D.O.U de 24/02/2005, que aprova a atualização da PNRM.

A Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) criada pelo Decreto nº 74.557, de 12 de setembro de 1974 e regida pelo Decreto nº 3.939, de 26 de setembro de 2001, tem a finalidade de coordenar os assuntos relativos à consecução da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM). A CIRM é composta de representantes de dezessete ministérios, entre eles o Ministério de Minas e Energia.

A elaboração de planos setoriais plurianuais está prevista no PNRM, já tendo sido publicadas sete versões, sendo a última, o VII Plano Setorial para os Recursos do Mar, aprovado pelo Decreto nº 6.678, de 08 de dezembro de 2008, D.O.U de 09/12/2008. Em face das potencialidades que os fundos marinhos representam, o VII PSRM indica que os seguintes pontos devem ser considerados na formulação de políticas e estratégias para a exploração mineral marinha:

- A conclusão da regulamentação para a prospecção e exploração de sulfetos polimetálicos e de crostas cobaltíferas pela Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos poderá ocasionar uma corrida internacional para a requisição de sítios de exploração na Área de áreas no Atlântico Sul, situadas em frente à margem continental brasileira.
- O desenvolvimento de tecnologia marinha para a exploração e exploração em águas profundas representa um componente político-estratégico importante para os países que queiram ampliar sua influência para a área internacional dos oceanos.
- A mitigação dos danos causados pela erosão costeira demandará estudos para a identificação, o dimensionamento e o impacto ambiental para viabilizar o uso dos granulados na reconstituição de perfis de praia.
- A areia e o cascalho dragado dos fundos marinhos poderão vir a ser uma importante contribuição à demanda nacional de agregados, substituindo materiais extraídos de fontes continentais, reduzindo assim a extração em áreas de importância para agricultura, turismo ou mesmo conservação ambiental.
- O aproveitamento dos depósitos marinhos de granulados bioclásticos, fosforita e outros insumos poderá reduzir significativamente as importações ou quem sabe tornar o Brasil auto-suficiente em fertilizantes.

A CIRM possui duas ações diretamente relacionadas à exploração de recursos minerais representadas pelos programas REMPLAC e PROAREA, em desenvolvimento no âmbito da Subsecretaria para o PSRM.

O Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REMPLOC) foi criado pela Resolução CIRM nº 004, de 03/12/1997. O REMPLAC tem como objetivo avaliar a potencialidade mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB), através da caracterização do meio físico, da avaliação dos recursos minerais, da identificação e detalhamento de áreas de relevante potencialidade mineral, do levantamento de informações geológicas para a gestão integrada da plataforma e da zona costeira e na indução de atividades de pesquisa que contemplem o desenvolvimento tecnológico e a inovação aplicada à exploração de recursos minerais marinhos.

O Programa de Prospecção e Exploração de Recursos Minerais da Área Internacional do Atlântico Sul e Equatorial (PROAREA) foi criado pela Resolução CIRM nº 003, de 16/09/2009, com o propósito de identificar e avaliar a potencialidade mineral de áreas localizadas nesta região, que possuam importância econômica e político-estratégica para o Brasil.

4.2.3 - Legislação Mineral

A atual legislação que regula a pesquisa e lavra mineral no Brasil não faz nenhuma distinção entre áreas submarinas e terrestres.

O Código de Mineração, Decreto-Lei nº 227/1967, modificado pela Lei nº 9.314/96, regula os direitos sobre os recursos minerais do país, seu regime de apro-

veitamento e a fiscalização da pesquisa, da lavra e de outros aspectos da indústria mineral pelo Governo Federal.

O aproveitamento de substâncias minerais no mar Territorial, plataforma continental e zona econômica exclusiva depende de alvará de autorização de pesquisa, do Diretor-Geral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e de concessão de lavra, outorgada pelo Ministro de Estado de Minas e Energia (Artigo 2º do Código de Mineração).

Durante a vigência do alvará de autorização de pesquisa deverá ser realizada pesquisa mineral, conforme definida no artigo 14 do Código de Mineração, cujos resultados deverão constar de um relatório com a avaliação quantitativa e qualitativa da jazida, bem como a exequibilidade do seu aproveitamento econômico, que deverá ser apresentado ao DNPM, dentro do prazo de vigência da autorização de pesquisa ou de sua renovação (Artigo 22, V, Código de Mineração).

O DNPM, de acordo com o artigo 30 do Código de Mineração, verificará a exatidão do relatório apresentado e proferirá despacho de: Aprovação do relatório, quando ficar demonstrada a existência de jazida; Não aprovação, quando ficar constatada insuficiência dos trabalhos de pesquisa ou deficiência técnica na elaboração do relatório; Arquivamento, quando ficar demonstrada a inexistência de jazida; e Sobrestamento da decisão, quando ficar caracterizada a impossibilidade temporária da exequibilidade técnico-econômica da lavra. No caso da aprovação do relatório, o detentor do título terá, de acordo com o artigo 31 do Código de Mineração, um ano para requerer a concessão de lavra, e para tal deverá apresentar ao DNPM um plano de aproveitamento econômico da jazida mineral, o qual será analisado e poderá ser ou não aprovado.

Para outorga da concessão de lavra a jazida deverá estar com relatório aprovado e a área proposta para lavra será aquela adequada à condução técnico-econômica dos trabalhos de extração e beneficiamento, respeitados os limites da área aprovada na pesquisa (Artigo 37 do Código de Mineração). A concessão de lavra terá por título uma portaria assinada pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, por tempo indeterminado.

A Portaria DNPM nº 392/2004, de 21/12/2004, define as áreas e os prazos de vigência máximos para as autorizações de pesquisa. As áreas e os prazos variam de: dois mil hectares e três anos para substâncias minerais metálicas, fertilizantes, carvão, diamante, rochas betuminosas e pirobetuminosas, turfa e sal gema; cinquenta hectares e dois anos para materiais de uso imediato na construção civil (art. 1º da Lei nº 6.567, de 24/09/1978, com a redação dada pela Lei nº 8.982, de 24/01/1995), águas minerais e potáveis de mesa; areia para uso na indústria de transformação, feldspato, mica, gemas e pedras decorativas; um mil hectares e dois anos para rochas para revestimento e um mil hectares e três anos para as demais substâncias minerais.

A recuperação de perfis de praia com o aproveitamento de areias e/ou cascalhos marinhos não está regulada pelo Código de Mineração, conforme definido no parágrafo 1º do art. 3º: “Não estão sujeitos aos preceitos deste Código os trabalhos de movimentação de terras e de desmonte de materiais *in natura*, que

se fizerem necessários à abertura de vias de transportes, obras gerais de terraplanagem e de edificações, desde que não haja comercialização das terras e dos materiais resultantes dos referidos trabalhos e ficando o seu aproveitamento restrito à utilização na própria obra”.

A Portaria DNPM nº 441/2009, DOU de 17/12/2009, regulamentou o § 1º do artigo 3º do Código de Mineração, normatizando e uniformizando, em âmbito nacional, o tratamento aos casos incluídos no citado artigo. Foi criada a Declaração de Dispensa de Título Minerário, certidão emitida pelo DNPM que reconhece o disposto no § 1º do art. 3º do Código de Mineração para caracterização de caso específico, que deverá ser pleiteada pelo responsável ou executor da obra, mediante requerimento dirigido ao DNPM em cuja circunscrição está localizada a área de interesse, devendo o mesmo estar instruído com a documentação prevista no artigo 7º desta portaria. Para a execução da obra, será necessária, ainda, a autorização da Autoridade Marítima e da Prefeitura Municipal, bem como o licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), conforme previsto na Resolução CONAMA n.º 237/1997.

O § 2º do artigo 114 do Decreto nº 62.934/1968 (Regulamento do Código de Mineração) trata das possíveis interferências em áreas de interesse para as atividades específicas de fiscalização de competência do DNPM e da Agência Nacional de Petróleo (ANP), que sucedeu o Conselho Nacional de Petróleo (CNP). Como, a partir do final de 2008, aumentou o interesse em depósitos subsuperficiais marinhos, principalmente de sais de potássio, seria importante melhor definir os conflitos legais das áreas concedidas para mineração com os blocos exploratórios licitados pela ANP, visando atualizar o § 2º do artigo 114 do Regulamento do Código de Mineração (RCM), transcrito abaixo, pois o mesmo foi editado ainda sob a Lei nº 2004/1953, que instituiu o monopólio da União na exploração, produção, refino e transporte do petróleo no Brasil e criou a Petrobras para exercê-lo, posteriormente revogada pela Lei nº 9.478/1997:

- “Art. 114 - Compete ao DNPM a execução deste Regulamento, bem como a fiscalização das atividades concernentes à mineração, ao comércio e a industrialização das matérias-primas minerais.

§ 1º -

§ 2º - Visando à perfeita coordenação entre todos os Órgãos que executam e/ou fiscalizam a política de mineração, em território nacional, caberá à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), ao Conselho Nacional de Petróleo (CNP) e à Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) manter o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) informado a respeito das áreas em que desenvolvam suas atividades, do mesmo modo, caberá ao DNPM solicitar parecer a cada um daqueles Órgãos quanto a possíveis interferências em áreas de interesse para suas atividades específicas.”

O artigo 5º da Lei nº 9.478/1997, que revogou a Lei nº 2004/1953, acabou com a exclusividade da Petrobras nas atividades de pesquisa e lavra das jazidas de petróleo e gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos, refino de petróleo, importação, exportação e transporte de petróleo bruto, seus derivados e de gás

natural, que a partir desta data podem ser exercidas, mediante concessão ou autorização da União, por empresas constituídas sob as leis brasileiras, com sede e administração no país.

4.2.4 - Legislação Ambiental

Em 1981 foi promulgada a Lei nº 6.938, de 31/08/1981, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente. Nessa lei estão todos os fundamentos que definem a proteção ambiental no Brasil e que, posteriormente, durante a década de oitenta, foram regulamentados através de decretos, normas, resoluções e portarias.

A atividade de mineração no País está condicionada a três instrumentos de controle do Poder Público, no que tange aos riscos potenciais de danos ao meio ambiente, resultantes da extração mineral, ou seja, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o Licenciamento Ambiental (LA) e o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD).

O EIA, que precede o licenciamento ambiental de qualquer atividade de extração mineral, tem sua definição, normas, critérios básicos e diretrizes de implementação estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 001/1986 (com base na Lei nº 6.938/1981), alterada e complementada pelas resoluções nº 009/1990 e nº 010/1990, do mesmo Conselho Nacional de Meio Ambiente. A exigência do EIA aplica-se aos empreendimentos mineiros de toda e qualquer substância mineral, com exceção daquelas de emprego imediato na construção civil (art. 1º da Lei nº 6.567/1978, com a redação dada pela Lei nº 8.982/1995).

O EIA deve estar consubstanciado no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que deve ser submetido ao órgão de meio ambiente competente, para análise e aprovação. O RIMA deve ser tornado público, sendo a aprovação do EIA/RIMA requisito básico para o licenciamento ambiental, cuja obtenção é obrigatória para a localização, instalação ou ampliação e operação de qualquer atividade de mineração, estando regulado pelo Decreto nº 99.274/1990.

A Resolução CONAMA nº 237/1997 atribui ao IBAMA o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades localizadas no mar territorial, plataforma continental e zona econômica exclusiva. O licenciamento ambiental, como nas áreas continentais, não é necessário para a pesquisa mineral.

De acordo com o Decreto nº 97.632/1989, os empreendimentos de mineração estão obrigados, quando da apresentação do EIA/RIMA, a submeter o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) à aprovação do órgão de meio ambiente competente. No PRAD é apresentada a solução técnica escolhida e considerada adequada pela detentora do título minerário para a reabilitação da área degradada para utilização futura, após cessar a atividade de extração mineral.

A promulgação da Lei nº 9.605/1998 determinou a transferência das questões relacionadas a danos ambientais do âmbito administrativo para o âmbito criminal. Essa Lei, também chamada de “Lei de Crimes Ambientais”, especifica as condições nas quais os danos ambientais serão considerados e tratados como crime, com penas de indenização e de reclusão.

A Lei nº 9.985, de 18/07/ 2000, conhecida como Lei do SNUC, regulamentada pelo Decreto 4.340, de 22/08/2002, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e a compensação ambiental, nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório - EIA/RIMA.

A Instrução Normativa IBAMA nº 46/2004, que revogou a Portaria IBAMA nº 147/1997, define critérios que permitem a exploração, a comercialização e o transporte de algas marinhas no litoral brasileiro, tratando, exclusivamente, da exploração de algas vivas ou arribadas, conforme previsto no artigo 1º:

- "Art. 1º. Permitir a exploração, a exploração, a comercialização e o transporte de algas marinhas no litoral brasileiro

§ 2º. Somente as camadas superficiais dos depósitos calcários compostas predominantemente por organismos vivos, se enquadram nesta Instrução Normativa.

§ 3º. As camadas subsuperficiais são consideradas como jazidas minerais e a sua exploração deve atender às normas do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM."

A citação dessa instrução normativa deve-se as controvérsias já geradas com relação ao material a ser extraído, se algas calcárias (vivas) ou granulados bioclásticos (não vivos), que repercutiu negativamente na liberação dos licenciamentos ambientais para extração mineral no mar.

4.2.5 – Autoridade Marítima

A Marinha do Brasil atua como Autoridade Marítima no mar territorial, zona econômica exclusiva e plataforma continental brasileiros, de acordo com o art. 17, da Lei Complementar nº 97/1999, que diz:

"Cabe à Marinha, como atribuições subsidiárias particulares:

.....

IV - implementar e fiscalizar o cumprimento de leis e regulamentos, no mar e nas águas interiores, em coordenação com outros órgãos do Poder Executivo, federal ou estadual, quando se fizer necessária, em razão de competências específicas.

.....

Parágrafo único. Pela especificidade dessas atribuições, é da competência do Comandante da Marinha o trato dos assuntos dispostos neste artigo, ficando designado como "Autoridade Marítima", para esse fim."

A Norma da Autoridade Marítima 11 da Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil (NORMAM-11/DPC), aprovada pela Portaria nº 109/DPC, de 16/12/2003, trata no capítulo 3, da pesquisa e lavra de minerais no mar, prevendo que, após devidamente autorizados pelo órgão competente, os interessados deverão prestar formalmente algumas informações as capitânicas (CP), delegacias (DL) ou agências (AG), antes de iniciar qualquer atividade no mar.

Em 2009, o DNPM e a Marinha do Brasil firmaram o Acordo de Cooperação nº 20.000/2009-01-00 MB/DNPM com o objetivo de melhorar o planejamento e a implementação das ações de fiscalização das atividades de pesquisa e lavra de minerais no mar.

5 – DIREITOS MINERÁRIOS

No Brasil, somente no início da década de oitenta, do século passado, foram requeridas as primeiras áreas na plataforma continental do estado do Espírito Santo para pesquisa de sedimento biodetrítico, denominado, à época, de “calcário conchífero”. Em datas anteriores já havia áreas tituladas, mas localizadas na zona de praia, somente com partes no mar. Embora uma concessão de lavra, na plataforma continental do estado do Espírito Santo, tenha sido publicada em 1986, o empreendimento passou muitos anos com as atividades paralisadas, somente tendo tido continuidade em 2007, com a emissão da licença de operação pelo IBAMA.

A partir de 1999, houve um incremento nos requerimentos de pesquisa nas plataformas continentais dos estados do Espírito Santo, Bahia e Maranhão. No período de 1999 a 2003, foram requeridas mais de oitenta áreas para pesquisa de granulados bioclásticos nestes três estados.

Em 2001, a solicitação de guia de utilização em processos de autorização de pesquisa na plataforma continental do estado do Espírito Santo causou uma série de problemas, tanto com relação à questão ambiental sobre a extração de algas calcárias quanto com relação à proximidade da Terra Indígena de Caieiras Velhas, no município de Aracruz. Devido aos problemas e à repercussão política que o assunto teve no estado, o IBAMA emitiu duas licenças ambientais para extração mineral por guia de utilização, mas as cancelou posteriormente. Na época, ocorreu, inclusive, uma audiência pública na Comissão de Defesa do Consumidor, Meio Ambiente e Minorias da Câmara dos Deputados sobre o “Projeto de exploração de calcário biogênico de algas calcárias em Santa Cruz no Estado do Espírito Santo”.

Devido às controvérsias com relação ao material a ser extraído, se algas calcárias ou sedimento calcário, que repercutiram na liberação de licenças ambientais na plataforma continental para extração de granulado bioclástico, o IBAMA formou, em 2001, um grupo de trabalho para revisão da Portaria IBAMA nº 147/1997, que dispõe sobre a permissão de exploração de campos naturais de algas. Somente em 2004, a portaria foi substituída pela Instrução Normativa IBAMA nº 46, de 13/08/2004. A IN define critérios que permitem a exploração, a comercialização e o transporte de algas marinhas (vivas) no litoral brasileiro, não acrescentando nada à questão da mineração de granulados (não vivos) propriamente dita.

Até junho de 2009, 63% das áreas requeridas para pesquisa eram para granulados bioclásticos, além da única concessão de lavra e de todos os dez requerimentos de lavra em análise no DNPM. Somente em dezembro/2010 foram novamente publicadas concessões de lavra na ZEE brasileira com seis áreas concedidas para calcário nos municípios de Tutoia e Araisos no estado do Maranhão.

No segundo semestre de 2009, houve um incremento no requerimento de áreas para pesquisa de sais de potássio, tendo sido requeridas mais de 1.300 áreas distribuídas nas plataformas continentais dos estados de Sergipe, Bahia, Espírito

Santo e São Paulo, sendo que, ainda em 2009, foi protocolado pedido de desistência para cerca de 38% dos requerimentos, antes da publicação dos alvarás de pesquisa.

No final de 2009, havia, em tramitação no IBAMA, oito processos para licenciamento ambiental de empreendimentos para extração de granulados bioclásticos, localizados nas plataformas continentais dos estados do Espírito Santo, Bahia e Maranhão.

As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam a situação das áreas oneradas em dezembro/2010 e na figura 5.1 é mostrada uma série histórica dos requerimentos de pesquisa na PCJB, demonstrando o aumento do interesse por estas áreas.

UF	REQUERIMENTO DE PESQUISA	AUTORIZAÇÃO DE PESQUISA	REQUERIMENTO DE LAVRA	CONCESSÃO DE LAVRA	TOTAL
AL		5			5
BA	13	493			506
CE	16				16
ES	15	221	4	1	241
MA	36	76	3	6	121
PE		10	5		15
PI		7	4		11
RJ	2	24			26
RN		51			51
SC		9			9
SE	3	15			18
SP	229				229
	314	911	16	7	1248

Tabela 5.1 - Títulos minerários distribuídos por estado na zona econômica exclusiva brasileira. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPM.

SUBSTÂNCIA	AL	BA	CE	ES	MA	PE	PI	RN	RJ	SC	SE	SP
AREIA		2		6								8
AREIA/CALCÁRIO				5								5
AREIA/SAL GEMA				31								31
CALCÁRIO		23	16	70	83	15	11	51		1		270
CARVÃO										8		8
DIAMANTE		9										9
FOSFATO					24							24
FOSFATO/CALCÁRIO					13							13
ILMENITA				2					13			6
MINÉRIO DE FERRO		3										3
SAIS DE POTÁSSIO	5	469		103							15	223
SAL GEMA				24					13		3	40
ZIRCÃO					1		0					1
		506		241	121	15	11	51	26	9	18	229

Tabela 5.2 - Títulos minerários distribuídos por substância na zona econômica exclusiva brasileira. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPM.



Figura 5.1 – Áreas oneradas na Plataforma Continental Jurídica Brasileira. Fonte: DNPM

Nos mapas das figuras 5.2 a 5.9 estão representadas as áreas oneradas na zona econômica exclusiva brasileira.

O DNPM criou, em 2009, um grupo de trabalho para estudar e propor critérios e procedimentos a serem observados na outorga e fiscalização da autorização de pesquisa e concessão de lavra de áreas localizadas no mar territorial, zona econômica exclusiva e plataforma continental brasileiros. Entre os produtos estão roteiros para elaboração de relatório final de pesquisa e plano de aproveitamento econômico, adequados às peculiaridades do ambiente marinho.

A proposta de criação de unidades de conservação (UC) em toda a zona costeira, mar territorial, plataforma continental e zona econômica exclusiva, sem um levantamento criterioso sobre a relevância ambiental das áreas e nem quanto à existência de recursos minerais e energéticos com viabilidade de exploração de forma sustentável, tem causado muitos problemas para a consolidação do setor mineral marinho no Brasil, ocasionando uma insegurança muito grande para os investidores. Hoje, excetuando algumas áreas isoladas, o conhecimento da PCJB, mesmo nas regiões de águas rasas, ainda é muito preliminar (escala regional) e somente um levantamento morfo-sedimentar do fundo marinho em escala de detalhe poderá produzir um conhecimento mínimo que possibilite demarcar as áreas de relevante interesse ambiental, de forma correta, sem o super dimensionamento que está ocorrendo quando da criação de UC, com áreas em tamanho muito superior as reais necessidades para proteção de determinado recurso ambiental, inviabilizando, muitas vezes, o aproveitamento de recursos naturais de forma sustentável, que poderiam trazer desenvolvimento para regiões, muitas vezes, sem qualquer atividade econômica e com populações vivendo abaixo da linha de pobreza.

O conhecimento morfo-sedimentar do fundo marinho poderá definir áreas prioritárias para a exploração mineral, que seriam caracterizadas pelo alto potencial para determinado insumo ou insumos minerais e pouca relevância ambiental, essencial para nortear à criação de novas UC marinhas e também para tornar menos problemática a emissão de licenças ambientais pelo IBAMA.

No trabalho “Geologia da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes” (CPRM, 2009) são propostas áreas de relevante interesse mineral, a partir da integração de dados geológicos e geofísicos, com base na potencialidade mineral, divididas em áreas com interesse para energéticos (carvão mineral e hidratos de gás), insumo agrícola, gemas, metálicos e não metálicos. Neste caso, somente é considerada a potencialidade mineral, já na proposta de criação de áreas prioritárias para a exploração mineral, tanto será considerado o potencial mineral quanto a relevância ambiental da área.

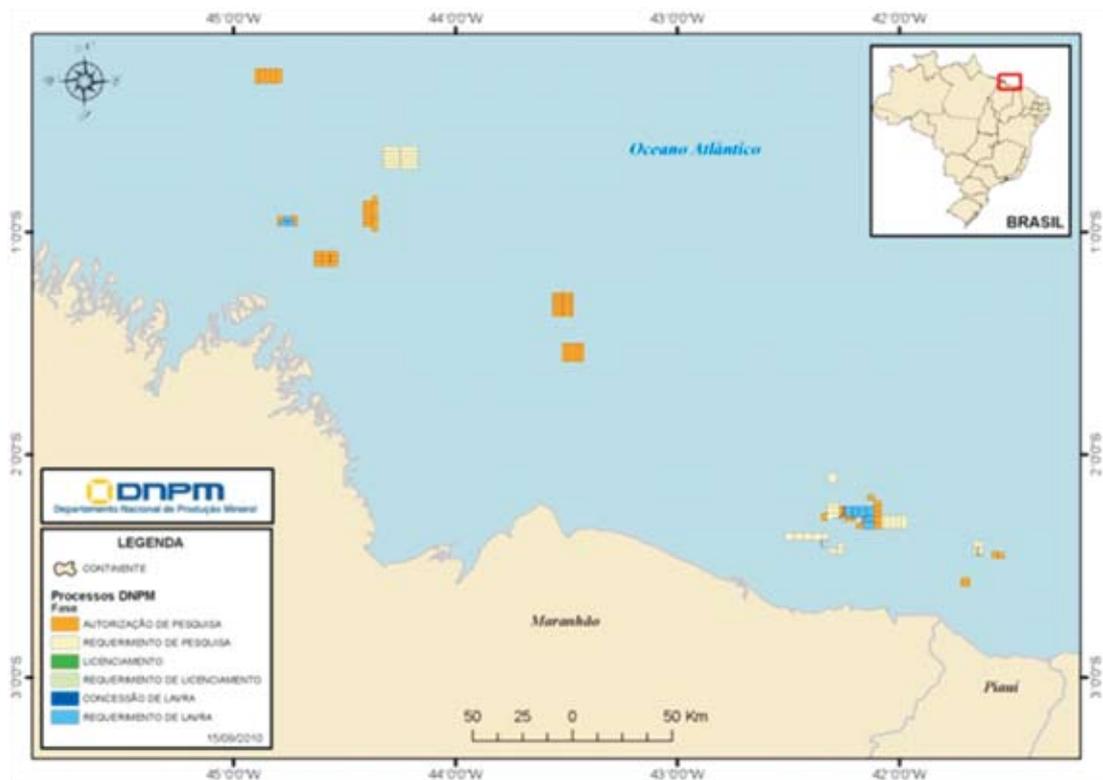


Figura 5.2 – Mapa de áreas oneradas nas zonas econômicas exclusivas dos estados do Maranhão e Piauí, com destaque para as áreas com concessão de lavra, autorização de pesquisa e requerimento de lavra para granulados carbonáticos. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPm.

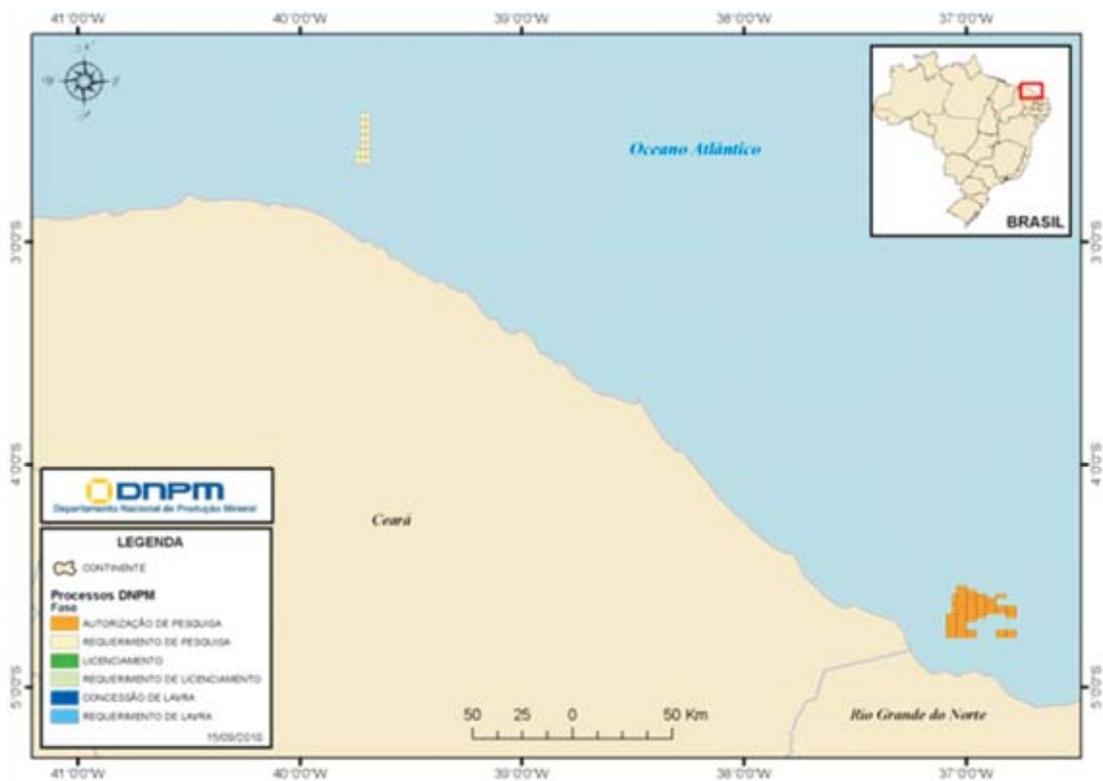


Figura 5.3 – Mapa de áreas oneradas nas zonas econômicas exclusivas dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, com todas as áreas autorizadas para granulados carbonáticos. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPm.

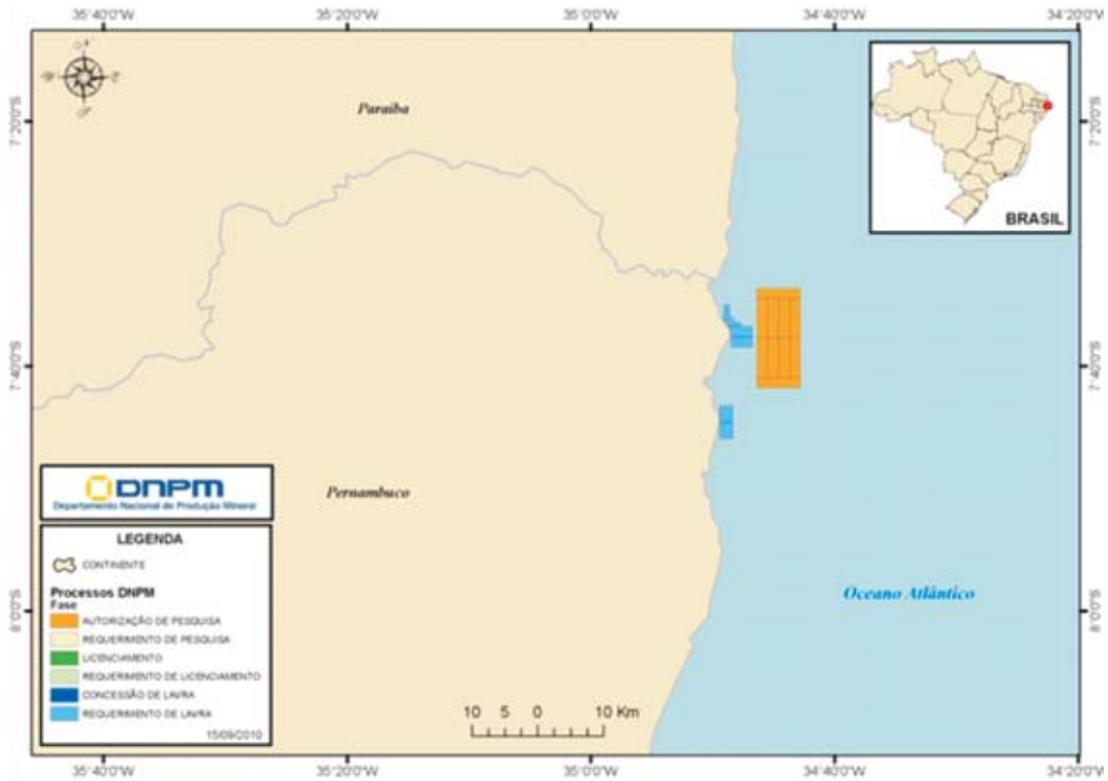


Figura 5.4 – Mapa de áreas oneradas na zona econômica exclusiva do estado de Pernambuco, com todas as áreas autorizadas para pesquisa e em requerimento de lavra para granulados carbonáticos. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPM.

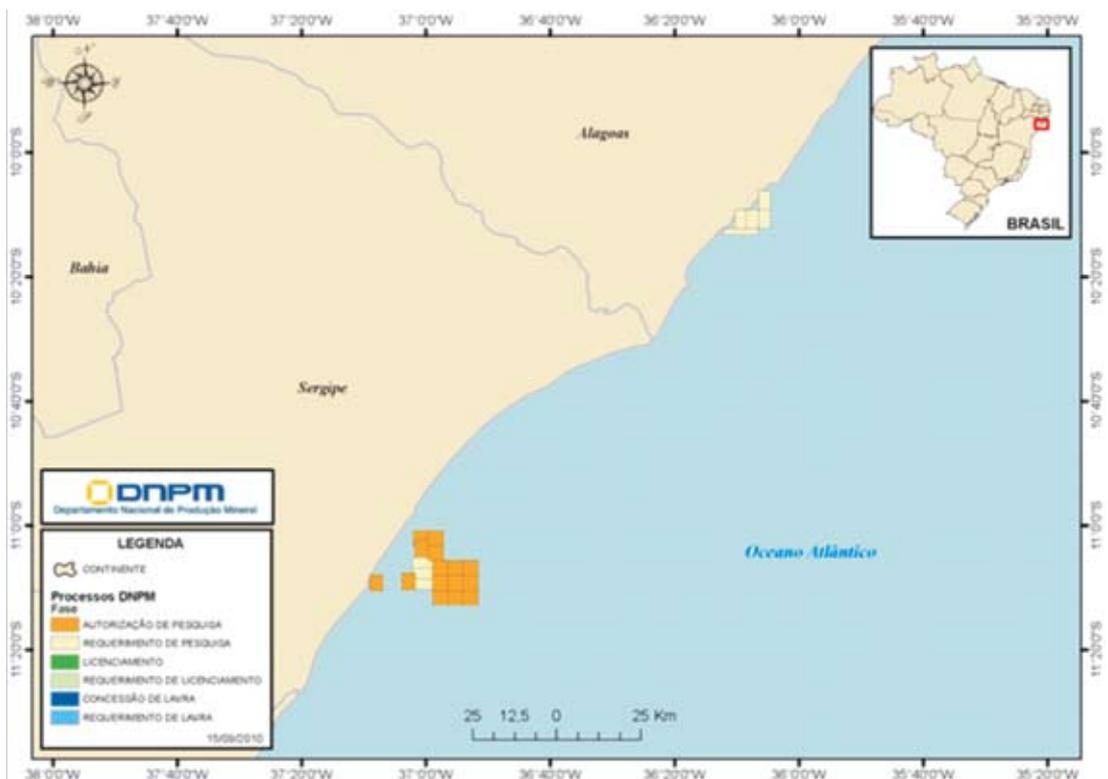


Figura 5.5 – Mapa de áreas oneradas nas zonas econômicas exclusivas dos estados de Alagoas e Sergipe, com destaque para as áreas autorizadas para pesquisa de sais de potássio. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPM.

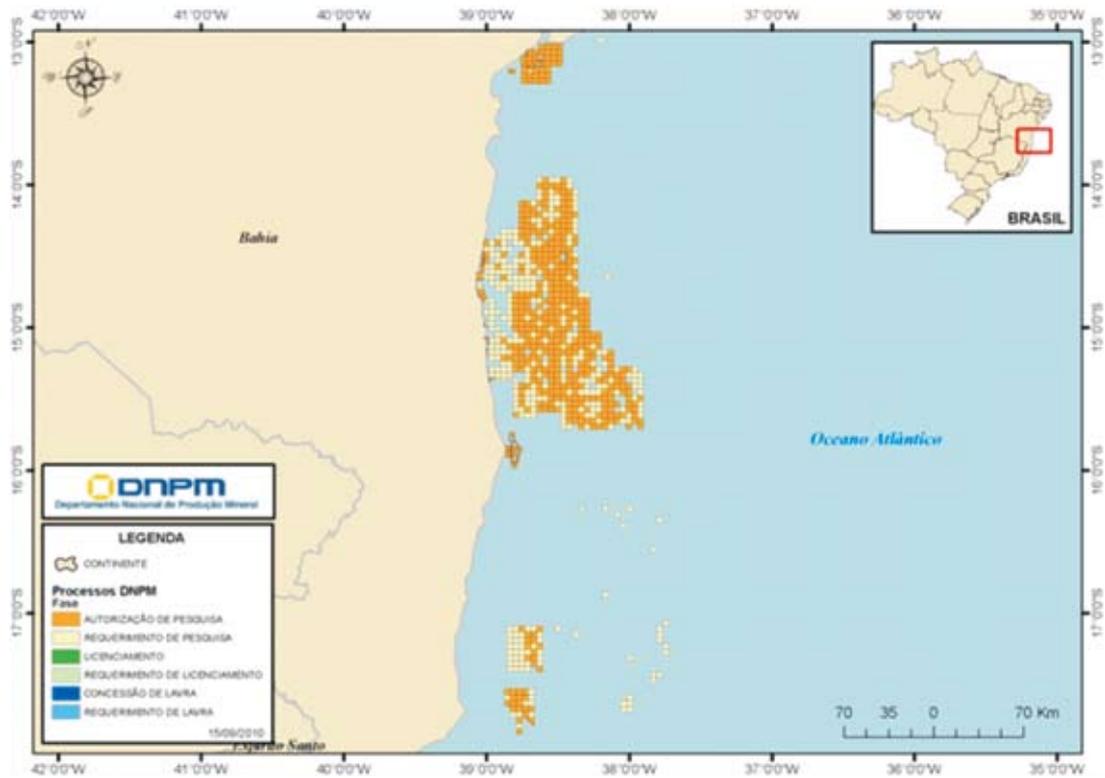


Figura 5.6 – Mapa de áreas oneradas na zona econômica exclusiva do estado da Bahia, destacando as áreas com autorização de pesquisa para sais de potássio e a sul para diamante. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPm.

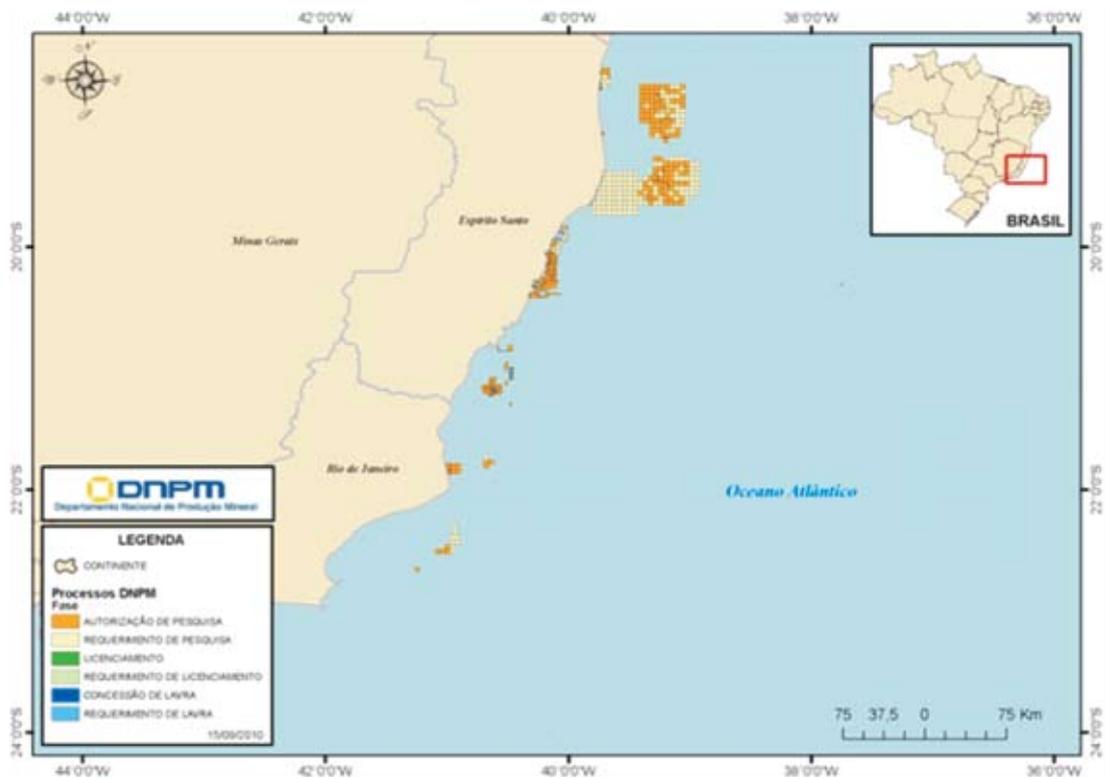


Figura 5.7 – Mapa de áreas oneradas nas zonas econômicas exclusivas dos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, destacando, no primeiro, as áreas autorizadas para pesquisa e lavra de granulados carbonáticos e mais ao largo, para pesquisa de sais de potássio. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPm.

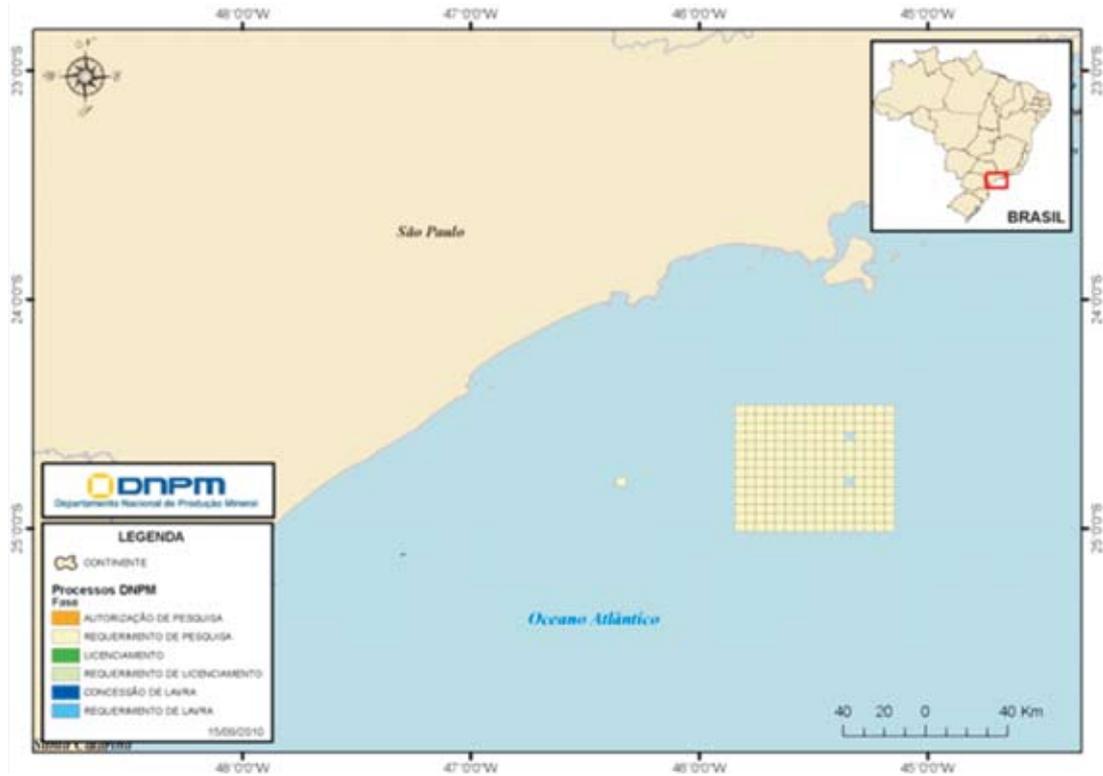


Figura 5.8 – Mapa de áreas oneradas na zona econômica exclusiva do estado de São Paulo, destacando os requerimentos de pesquisa para sais de potássio. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPM.

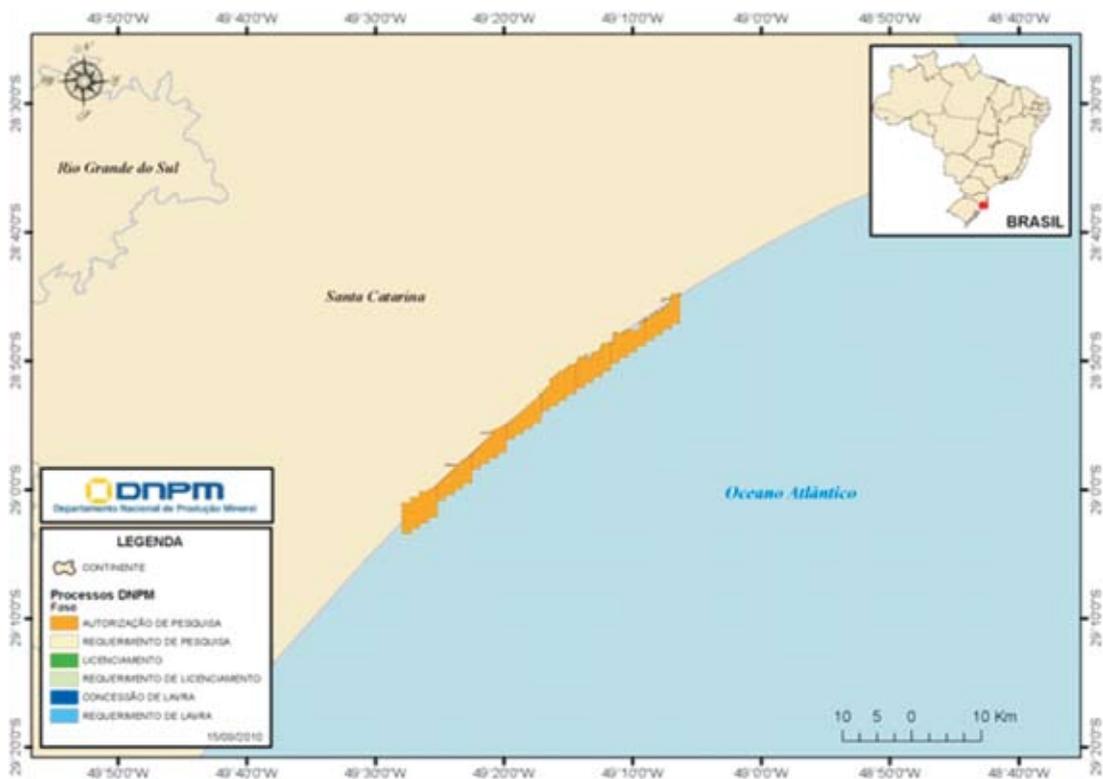


Figura 5.9 – Mapa de áreas oneradas na zona econômica exclusiva do estado de Santa Catarina, com destaque para as áreas com autorização de pesquisa para carvão. Atualizado em dezembro/2010. Fonte: DNPM.

6 – TECNOLOGIAS DE PESQUISA E LAVRA MINERAL NO MAR

O desenvolvimento de equipamentos e técnicas para a pesquisa e a lavra de depósitos minerais marinhos tem se intensificado nos últimos 20 anos, pois, embora desde o século XIX, já houvesse países que exploram determinados bens minerais marinhos, somente a partir da década de oitenta do século passado, houve realmente um incremento na investigação do fundo do mar, visando à exploração e exploração dos recursos minerais ali existentes tanto de águas rasas quanto profundas.

A pesquisa e lavra de recursos minerais marinhos será abordada em três partes: a primeira se refere aos depósitos minerais superficiais de águas rasas (profundidade menor que 200 metros); a segunda abrange os também ocorrentes em águas rasas, mas em subsuperfície; e a última refere-se aos depósitos minerais de aproveitamento futuro, localizados em mar profundo.

6.1 – Depósitos minerais superficiais de águas rasas

Neste item serão descritas, de forma sucinta, as técnicas de pesquisa e lavra dos granulados siliciclásticos, granulados carbonáticos e depósitos de pláceres.

6.1.1 – Pesquisa Mineral

A prospecção e a pesquisa mineral de depósitos minerais superficiais de águas rasas utilizam métodos diretos e indiretos de investigação, sendo importante a aplicação destes procedimentos para obter dados sobre a morfologia do fundo, a distribuição superficial e composição dos sedimentos, a espessura do pacote sedimentar e o arranjo e composição do substrato rochoso.

6.1.1.1 – Métodos Indiretos

Os métodos indiretos são aqueles em que as informações do fundo e de subsuperfície são obtidas sem a necessidade de coleta de amostra e observação direta. Devem ser os primeiros a ser empregados, pois são capazes de obter informações de grandes áreas em um tempo mais curto e a um custo menor, servindo para orientar a aplicação dos métodos diretos.

No estudo de depósitos minerais superficiais de águas rasas, as ferramentas geofísicas mais indicadas se baseiam na propagação de ondas acústicas, sendo os principais a sísmica, a sonografia e a batimetria.

O método sísmico se baseia no fato de que as ondas elásticas, também chamadas de ondas sísmicas, viajam com diferentes velocidades em diferentes tipos de rochas. A sísmica de reflexão de alta resolução permite determinar, através de registros sísmicos, a espessura das camadas, o mergulho, a geometria dos depósitos, ocorrências de acumulações rasas de gás e domos salinos, a presença de estruturas geológicas, deslizamentos submarinos e a morfologia do substrato rochoso subjacente.

A sonografia fornece informações sobre as características morfológicas e sedimentológicas do fundo marinho, como feições expressivas do relevo e a variação da distribuição superficial dos sedimentos. O sonar de varredura lateral é um equipamento rebocado por uma embarcação que emite um feixe lateral de ondas acústicas, permitindo mapear no plano horizontal as características morfológicas e os padrões de reflexão acústica, relacionados aos diversos tipos de fundo, fornecendo uma “imagem acústica” do fundo submarino, que muito se assemelha a uma fotografia aérea. A presença de navios naufragados ou qualquer outra estrutura sobre o fundo marinho são mostradas nos registros sonográficos.

A batimetria fornece informações sobre a morfologia do fundo, possibilitando a construção de um mapa batimétrico com os dados pontuais de profundidade fornecidos pelo ecobatímetro e a localização precisa do ponto de leitura, pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS). O ecobatímetro tem como princípio de funcionamento a medição do tempo decorrido entre um pulso sonoro e a recepção do mesmo sinal após sua reflexão no fundo do mar. Os sistemas de classificação acústica de sedimentos podem utilizar pulsos gerados por ecobatímetros que são refletidos pelo fundo e, ao retornarem ao transdutor, convertidos em impulsos elétricos e gravados em legendas de cores de acordo com a intensidade do sinal. Para este fim, possui como vantagem sobre os sistemas de sonar de varredura lateral a facilidade de instalação e operação, porém tem como desvantagem não permitir uma avaliação lateral do fundo.

6.1.1.2 – Métodos diretos

Os métodos diretos de observação são as amostragens do fundo marinho e as filmagens submarinas, os quais, para obtenção de melhores resultados, devem ser executados após a aplicação dos métodos geofísicos, servindo, na maioria das vezes, para complementá-los e dar uma maior confiabilidade aos dados obtidos. Além de comprovar os resultados obtidos nos estudos geofísicos, as amostragens são indispensáveis para a cubagem dos depósitos minerais.

As amostragens do fundo marinho podem ser superficiais e subsuperficiais. As superficiais não ultrapassam 30 cm de profundidade e são executadas com equipamentos tipo busca-fundo e dragas de arrasto. As amostragens subsuperficiais para depósitos superficiais inconsolidados coletam sedimentos até dezenas de metros, sendo utilizados amostradores caixa (*box core*), testemunhadores e sondagem por *air-lift* ou *jet probe* (Figura 6.1). A amostragem submarina também pode ser feita através de mergulhos, caso a profundidade da lâmina d'água seja inferior a 90 metros. A escolha do equipamento de amostragem dependerá do tipo de material, do objetivo da pesquisa, da espessura a ser amostrada e da profundidade da lâmina d'água.

Atualmente, também é usado veículo do tipo ROV (*Remotely Operated Vehicles*), de operação remota, ligado ao navio por um cabo, constituído por uma câmara, um motor elétrico e um sistema de pilotagem eletronicamente controlado. É comandado do navio e permite que vários pesquisadores de especialidades diferentes tomem decisões conjuntas sobre o melhor local para amostragem. Mas este tipo de equipamento, por ter um custo muito alto, é mais utilizado em mar profundo.

Dependendo da substância pesquisada, como qualquer pesquisa mineral realizada no continente, deverá ser realizada análise textural, química total, composição biótica e composição mineralógica, bem como os ensaios tecnológicos necessários para caracterizar a substância mineral em função de sua utilização.

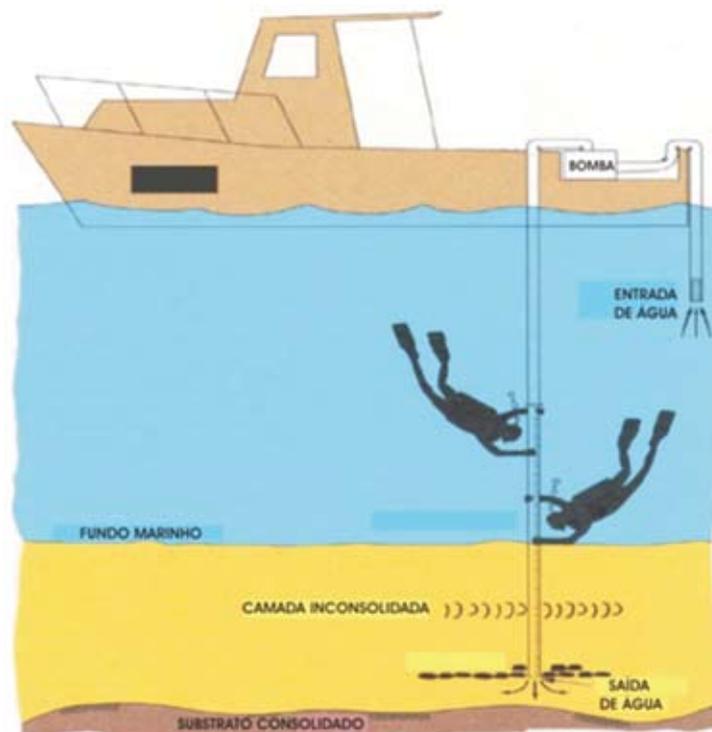


Figura 6.1 – Diagrama esquemático mostrando o processo de sondagem por *Jet probe* no fundo marinho. Adaptado de Finkl & Benedet (2003).

6.1.2 – Lavra Mineral

6.1.2.1 – Granulados

O método de extração utilizado para granulados siliciclásticos e carbonáticos é a dragagem, que pode atingir até 35 metros de profundidade de lâmina d'água. Os principais tipos de draga são de caçamba (*clam-shell*) e de sucção, em que o material é retirado do fundo para grandes navios ou barcaças.

Na dragagem com draga de caçamba, a embarcação permanece ancorada e o rendimento da dragagem depende do volume da caçamba e da natureza do fundo, sendo esse método indicado à lavra de jazidas com área superficial limitada e grande espessura (Figura 6.2).



Figura 6.2 – Draga de caçamba (*clam-shell*) em operação. Fonte: Algarea Mineração, 2005.

Na dragagem por sucção ou hidráulica, o material é aspirado, de forma contínua, do fundo do marinho por uma tubulação, formando uma mistura água/sedimento, sendo o minério acumulado por decantação no porão do navio e a água em excesso extravasada juntamente com as partículas mais finas (Figura 6.3). A dragagem por sucção pode ser dos tipos:

- extração por sucção em ponto fixo, em que a draga opera com a embarcação ancorada, formando cavidades pontuais, contínuas e de formato cônico, sendo também indicado para lavrar depósitos de grande espessura e área superficial limitada; e
- extração por sucção em movimento, em que a dragagem é executada por uma embarcação deslocando-se em linha reta a uma velocidade lenta (de 2 a 3 nós) e uniforme, produzindo sulcos laterais, lineares e paralelos à embarcação. Este tipo de dragagem tem impacto em uma área maior, mas deixa o fundo em um estado aproximado das condições iniciais.

No caso da dragagem de granulados para recuperação de perfis de praia, é utilizada draga de sucção, com o material, ou seja, a mistura água/sedimento movimentado por dutos diretamente para o local da obra.

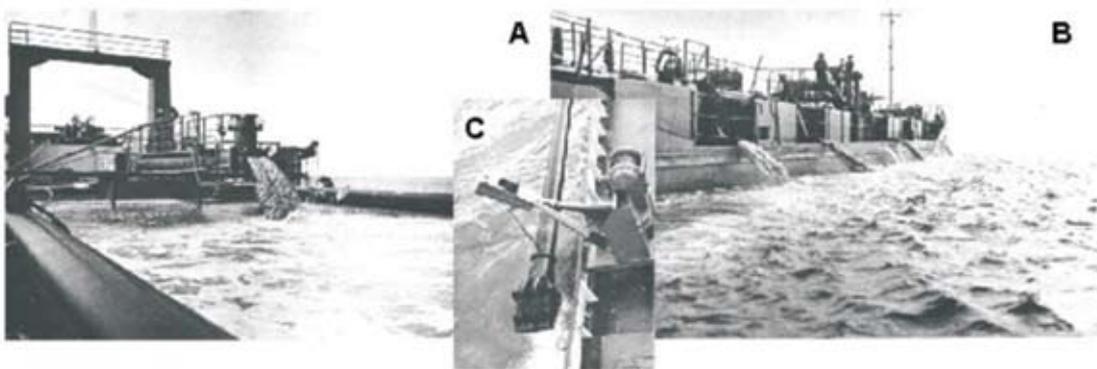


Figura 6.3 – Aspectos da dragagem por sucção: A e B - draga em operação; C - detalhe da boca do tubo de aspiração. Fonte: Boutmin, 1986.

6.1.2.2 – Depósitos de pláceres

A lavra de pláceres marinhos de minerais pesados pode ser feita através de dragagem por sucção ou mecânica, podendo, nesta última, serem utilizadas dragas tipo caçamba e escavadeira.

No Alasca, a lavra de ouro utilizava dragas de caçamba que foram substituídas por um trator submarino de operação remota, ligado ao navio por um cabo. Este equipamento possuía uma draga hidráulica e jatos d'água sob pressão eram utilizados para fragmentar os sedimentos semiconsolidados. O trator submarino tinha um desempenho superior à draga mecânica, com taxas de 120 m³/hora em areias e 26 m³/hora em cascalho em profundidades médias de 15 metros, além de proporcionar maior controle e seletividade da dragagem (Garnett, 2000b).

A extração de pláceres de diamantes na Namíbia e África do Sul, em águas rasas (< 30 metros), é realizada por mergulhadores que operam dragas de sucção (*air-lift*), selecionando os locais de maior probabilidade de ocorrência, ou seja, as irregularidades do fundo ou concavidades, onde as concentrações de diamantes são mais elevadas. Em águas mais profundas ou então em fundo consolidado ou formado por blocos e cascalhos são utilizadas sondagens rotativas de largo diâmetro (até 10 metros), denominadas de *Wirth drill*, que podem operar em até 200 metros de profundidade. Também são utilizados tratores submarinos com sistema de sucção, como aqueles da extração de ouro no Alasca, atingindo profundidades de até 200 metros (Garnett, 2000a).

6.2 – Depósitos minerais subsuperficiais

Neste item serão descritas, de forma sucinta, as técnicas de pesquisa e lavra dos sais, enxofre e carvão.

6.2.1 – Pesquisa Mineral

6.2.1.1 – Sais

O uso combinado de sísmica, gravimetria, eletrorresistividade e magnetometria, juntamente com a batimetria propiciarão a classificação genética e a diferenciação dos vários tipos de sedimentação existentes. A partir dessas informações, são selecionadas áreas propícias as acumulações de sal, em que será utilizado o imageamento sísmico e a perfilagem elétrica de poços exploratórios de petróleo para verificar a natureza do sal e seu possível interesse econômico.

Nas áreas selecionadas, será realizado estudo batimétrico e reinterpretação dos dados de sondagem e geofísicos preexistentes, principalmente sísmica 2D, 3D e perfilagem elétrica, quando disponíveis. Estes dados podem ser adquiridos junto a Agência Nacional de Petróleo - ANP ou de empresas privadas.

A partir do levantamento sísmico 3D de alta definição, será realizada a modelagem geofísica, que antecede as sondagens. Com a comprovação da existência de uma acumulação de sal contínua e espessa, serão locados os furos de sonda. A amostragem realizada é de calha, sendo as amostras submetidas a análises físicas e químicas.

A sísmica de reflexão é o método mais utilizado atualmente na pesquisa de petróleo, pois fornece alta definição das feições geológicas em subsuperfície propícias à acumulação de hidrocarbonetos e de sais, a um custo relativamente baixo. As imagens das estruturas e camadas geológicas subsuperficiais são apresentadas nas mais diversas formas e disponibilizadas para análise dos especialistas. O levantamento sísmico inicia-se com a geração de ondas elásticas, através de fontes artificiais, que se propagam pelo interior da Terra, onde são refletidas e refratadas nas interfaces que separam as rochas de diferentes constituições, retornando a superfície, onde são captadas por sofisticados equipamentos de registro.

A sondagem no mar envolve uma série de dificuldades, mas atualmente, com o avanço da exploração de petróleo *offshore* nos últimos 30 anos, estas já não são um impedimento a pesquisa mineral. Entre os problemas encontrados tem-se: o efeito das marés, dos ventos e das ondas; as correntes marítimas; a morfologia do fundo; a profundidade da lâmina d'água e o efeito corrosivo da água salgada.

6.2.1.2 – Enxofre

A pesquisa de enxofre possui etapas semelhantes àquela de depósitos de sais relacionadas a domos, sendo de fundamental importância o uso de seções sísmicas, em que a presença do enxofre é indicada por fortes reflexões no topo do domo de sal, atribuídas, possivelmente, a presença da rocha capeadora, a qual o enxofre nativo pode ocorrer associado.

6.2.1.3 – Carvão

O método mais indicado para a pesquisa de carvão na plataforma continental é a sísmica de refração, que permite avaliar as propriedades mecânicas e físicas das rochas com base na propagação das ondas sísmicas em subsuperfície. Este método é amplamente utilizado para pesquisa de carvão em áreas emersas.

6.2.2 – Lavra Mineral

Os dois principais métodos de extração de halita e sais de potássio em subsuperfície são a dissolução subterrânea e mineração convencional por câmaras e pilares, sendo esse primeiro empregado para as rochas evaporíticas facilmente solúveis em água. No caso da mineração *offshore* o método indicado é por dissolução, em que é injetado água sob pressão através de poços tubulares para extração dos sais solúveis, que chegam à superfície na forma de salmoura saturada, que é decantada e enviada para processamento industrial (Figura 6.4).

O enxofre nativo é extraído pelo processo *Frasch*, utilizado na mineração de depósitos associados a domos no Golfo do México, que está baseado no baixo ponto de derretimento e na baixa densidade desse elemento. O processo *Frash* (Figura 6.5) consiste na injeção de água superaquecida sob pressão através de um sistema de três tubulações concêntricas, que fundirá o enxofre, sendo posteriormente injetado ar comprimido, que servirá para bombear para a superfície uma mistura de água quente, ar e enxofre derretido (Souza & Martins, 2007).

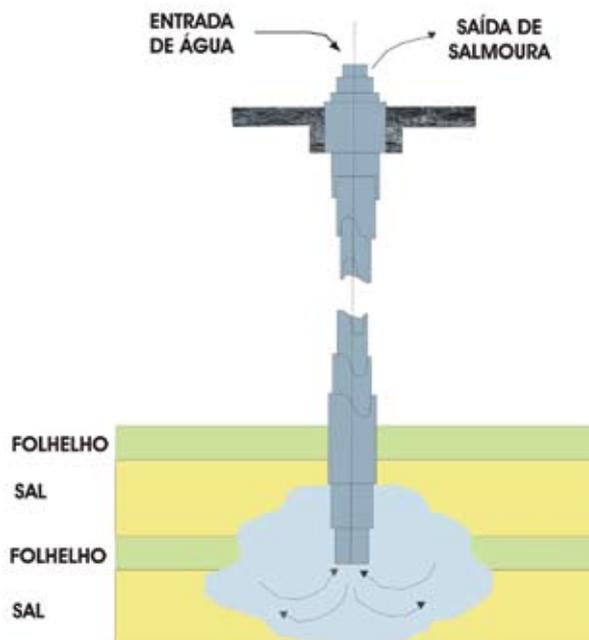


Figura 6.4 – Diagrama esquemático do processo de extração de sais por dissolução. Adaptado de Melo & Florêncio (2005) *apud* Florêncio (2009).

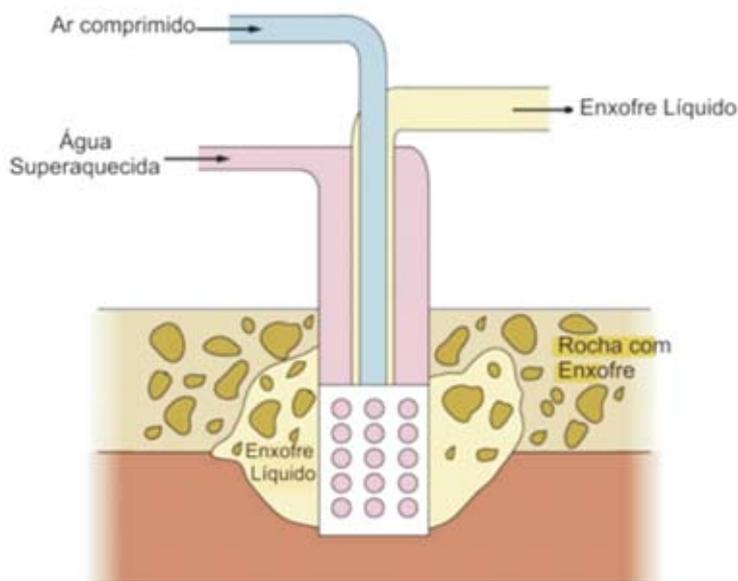


Figura 6.5 – Diagrama esquemático da extração de enxofre nativo pelo processo *Flash*. Fonte: <http://cwx.prenhall.com>

Na mineração de carvão em áreas submarinas, o método de lavra mais indicado é o *underground coal gasification* (UCG), em que a camada de carvão é alcançada por uma perfuração direcional extremamente precisa, sendo então submetido a uma queima controlada que produzirá um gás combustível, que será transportado para a superfície, onde ocorrerá a recuperação. Atualmente, depósitos de carvão com até 8 km de distância da costa são acessíveis para o método UCG do continente, através de poços de longo alcance (Souza & Martins, 2008).

6.3 – Depósitos minerais de mar profundo

6.3.1 – Pesquisa mineral

A exploração mineral em oceano profundo utiliza métodos diretos e indiretos de investigação, distribuídos em grupos de equipamentos de pesquisa, implementados a partir de navios oceanográficos guiados por um sistema de navegação e posicionamento:

- equipamentos de amostragem (dragas, amostradores e perfuradores);
- equipamentos visuais (câmeras fotográficas e de vídeo);
- equipamentos visuais e de amostragem (submersíveis e veículos remotamente operados);
- equipamentos geofísicos (sonar de feixe único, sonar multifeixe, sonar de varredura lateral e sísmica de reflexão).

Os sistemas de ecobatímetros de multifeixe são, atualmente, a tecnologia mais avançada no que diz respeito ao mapeamento batimétrico de precisão do fundo dos oceanos, capazes de mapear o fundo marinho a milhares de metros de profundidade, com resultados em três dimensões de elevada precisão. O sonar lateral é amplamente utilizado para dar informações da natureza da parte superior dos sedimentos, sendo a sísmica de reflexão utilizada para a obtenção de informações subsuperficiais.

Os submersíveis e os veículos remotamente operados (ROV) são usados para o mapeamento detalhado do assoalho oceânico, sendo equipados com câmeras fotográficas, de vídeo e amostradores. Os submersíveis são projetados para levar no máximo três tripulantes, operam em profundidades de até 6.500 metros e todos os seus acessórios para coleta de sedimentos, água, rochas e organismos são presos à parte externa do veículo. Tanto quanto os submersíveis, os ROV são equipados com dois braços mecânicos, mas estes últimos são ligados por cabo ao navio, transmitindo as imagens em tempo real através de fibra óptica para a equipe de pesquisadores embarcada, que a partir dessas informações pode tomar decisões quanto à amostragem e escolha de locais para detalhamento (Figura 6.6).

Com relação aos hidratos de gás, podem ser detectados por sondagem, mas a sísmica de reflexão é o método mais indicado, pois estes recursos ocorrem, geralmente, em profundidades de lâmina d'água superiores a 500 metros, quase sempre nos primeiros 100 metros do pacote sedimentar. O registro sísmico obtido nessas áreas é bastante característico, apresentando uma superfície de reflexão na base da zona portadora dos hidratos de gás, que evidencia uma queda brusca na velocidade de propagação das ondas sonoras, conhecida como BSR (*Bottom Simulating Reflector*). Abaixo do BSR, a velocidade de propagação das ondas sonoras cai, evidenciando um meio de propagação menos consistente. (Figura 6.7).



Figura 6.6 – Submersível *Nautilus* desenvolvido pelo IFREMER (*Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer*) e Veículo de Operação Remota (ROV).

Fonte: http://www.ifremer.fr/drogm/ressources_minerales/le_submersible_habite_nautilus; <http://www.subfind.com/panther.htm>



Figura 6.7 – Perfil sísmico com indicações de acumulações de hidratos de gás. Adaptado de <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/hydrates/index.html>

6.3.2 – Lavra mineral

A exploração mineral dos fundos oceânicos a profundidades que podem atingir 4.000 a 6.000 metros tem que considerar as condições ambientais bastante adversas de pressão, temperaturas muito baixas, alto grau de oxidação para os materiais que constituem os equipamentos, além das peculiaridades inerentes a cada depósito mineral, como a morfologia, natureza e propriedades mecânicas do fundo e substrato, grau de compactação das crostas, profundidade do substrato, entre outras.

A mineração de nódulos polimetálicos é a mais estudada já tendo sido registradas centenas de patentes de equipamentos de mineração de mar profundo. Os métodos desenvolvidos são sistemas hidráulicos, que variam de dragas rebocadas até veículos com autopropulsão. Alguns tipos de sistemas de extração, caracterizados pelo método de recuperação, têm sido estudados em ensaios pré-industriais no mar com equipamentos em pequena escala:

- cadeia contínua de caçambas de dragagem conectadas a um cabo dimensionado de acordo com a profundidade da lâmina d'água e do porte navio (Figura 6.8), as taxas de recuperação dos nódulos é considerada baixa (Palma & Pessanha, 2000; www.ifremer.fr);
- veículo de curto percurso autônomo, que desce ao fundo, coleta os nódulos e sobe para a superfície com a carga de material extraído para obter recarga de energia elétrica (Figura 6.9). Este sistema, para uma capacidade de carga de 250 toneladas de nódulos, requer um veículo de tamanho superior a 1.200 toneladas, levando ao gigantismo das instalações de superfície (<http://www.ifremer.fr>);
- hidráulicos, em que os nódulos são coletados com veículo semelhante a uma colheitadeira rebocada ou com autopropulsão, sendo o minério transportado para a superfície por meio de elevação hidráulica simples ou a ar comprimido, sendo caracterizado por um tubo vertical que assegura um fluxo ascendente dos nódulos (Palma & Pessanha, 2000).

O sistema hidráulico foi testado nos campos de nódulos do Pacífico por consórcios norte-americanos, sendo essas pesquisas importantes para demonstrar a possibilidade de mineração de nódulos pelo sistema hidráulico de bombeamento. De 1984 a 1988, as pesquisas francesas foram redirecionadas para o estudo de um sistema de dragagem com elevador hidráulico e autopropelido (Figura 6.10), tendo sido criado o GENOMOD (*Groupement pour la Mise au Point des Moyens Nécessaires à l'Exploitation des Nódulos Polymétalliques*), um grupamento de interesse público criado especificamente para desenvolver os meios para a exploração dos nódulos polimetálicos (<http://www.ifremer.fr>).

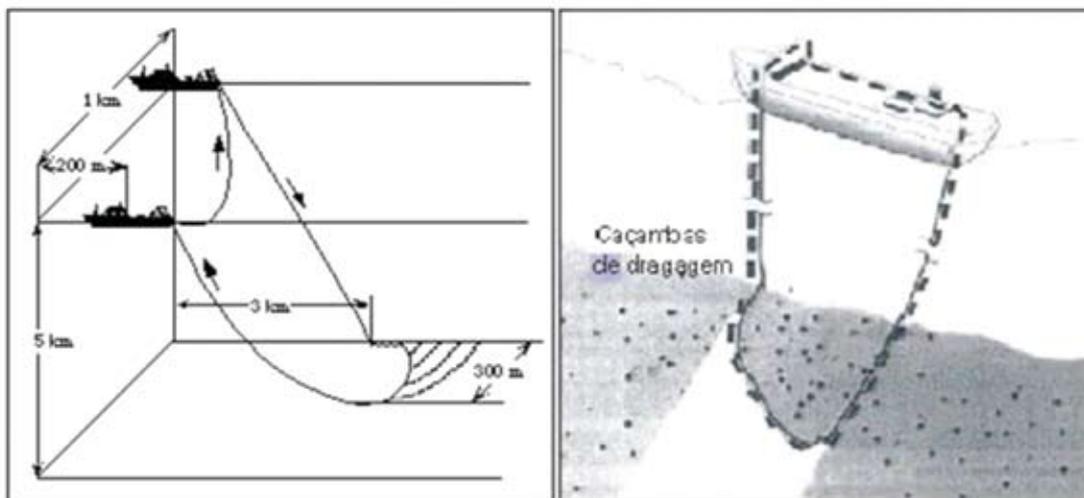


Figura 6.8 – Diagrama ilustrativo de um sistema de mineração utilizando cadeia contínua de caçambas.
Fonte: <http://www.ifremer.fr>; Palma & Pessanha, 2000.

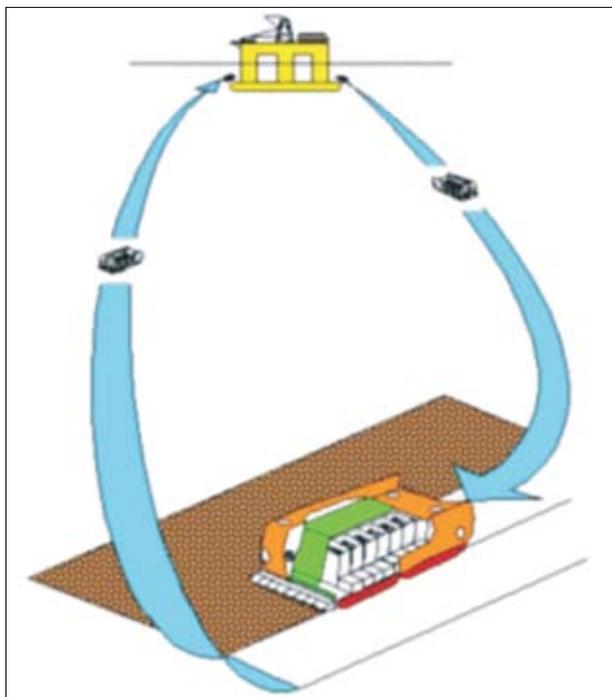


Figura 6.9 – Diagrama ilustrativo de um sistema de mineração utilizando veículo de curto percurso autônomo. Fonte: http://www.ifremer.fr/drogm/ressources_minerales/nodules_polymetalliques/chantier_de_ramassage

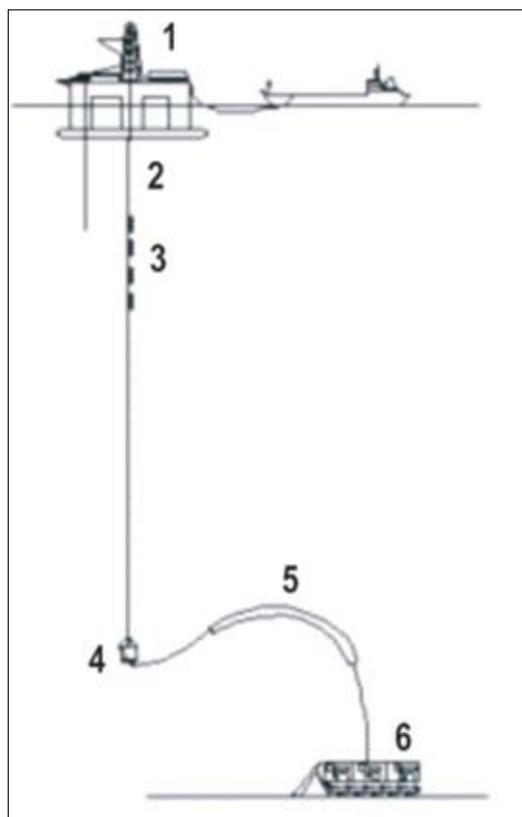


Figura 6.10 – Diagrama ilustrativo do sistema de dragagem com elevador hidráulico e auto-propelido do GENOMOD: 1 – plataforma de superfície; 2 – tubulação rígida; 3 – bombas; 4 – conexão entre a tubulação rígida e o condutor flexível; 5 – condutor flexível; 6 – máquina de dragagem. Adaptado de http://www.ifremer.fr/drogm/ressources_minerales/nodules_polymetalliques/chantier_de_ramassage

A mineração de crostas é diferente da aplicada para nódulos e tecnologicamente mais complicada, devido à dificuldade de desenvolver equipamentos capazes de separar o minério do substrato estéril, recuperando-o com um mínimo de rejeito. Estudos sobre o desenvolvimento de equipamentos de mineração e processamento têm sido realizados, sendo propostas técnicas de mineração para o desmonte que incluem separação sônica, varredor com jatos de água, lixiviação química *in situ*, linha de dragagem com caçambas, esteiras cortantes, máquina trituradora de rolo e veículo com cortadores articulados para fragmentação seletiva. O desenvolvimento de equipamentos de mineração e metalurgia extrativa são questões fundamentais, mas alguns dados básicos precisam ser obtidos antes da escolha de um método de extração, sendo o mais importante conhecer a topografia de detalhe dos montes submarinos e a variação na espessura das crostas. Esta informação é fundamental antes de projetar um equipamento de extração viável técnica e economicamente (Hein, 2006).

Com relação à mineração de sulfetos polimetálicos, já existem investimentos em andamento para viabilizar a lavra experimental através do sistema de extração mostrado na figura 6.11.



Figura 6.11 – Diagrama esquemático do sistema de mineração de sulfetos de mar profundo que está sendo desenvolvido pela Nautilus Minerals Inc. Adaptado de Heydon & Scott (2008).

7 - ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE INSUMOS MINERAIS MARINHOS EM SUBSTITUIÇÃO AOS CONTINENTAIS

A exploração de recursos minerais marinhos é uma alternativa para um país como o Brasil que possui uma zona econômica exclusiva (ZEE) de 3.500.000 km², que poderá ser estendida em mais 960.000 km², e já tem na indústria do petróleo e gás um exemplo de exploração racional dos recursos minerais energéticos na ZEE brasileira.

Entre os recursos minerais com lavra operacional, a Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) tem potencial para exploração de granulados siliciclásticos, granulados carbonáticos, pláceres (diamante, ouro, ilmenita, zircão, monazita e rutilo), sais de potássio, enxofre e fosforita.

Com relação aos depósitos minerais de mar profundo tanto na PCJB quanto na Área, estes são alternativas futuras para o mercado internacional de *commodities* minerais, principalmente os metais que ocorrem relacionados aos nódulos polimetálicos (Mn, Cu, Ni, Co; profundidade da lâmina d'água de 4.000 a 6.000m), as crostas ferromanganesíferas (Mn, Co, Ni, Pt; profundidade da lâmina d'água de 500 a 2.500m) e aos sulfetos polimetálicos (Cu, Fe, Zn, Ag, Au; profundidade da lâmina d'água de 2.000 a 4.000m). Embora já existam pesquisas sendo desenvolvidas com esse objetivo, ao contrário de outros tipos de depósitos marinhos, como diamantes, sais e granulados, a tecnologia de extração para os nódulos, bem como para as crostas, hidratos e sulfetos, ainda está em nível de pesquisa piloto, ou seja, está ao alcance, mas ainda não foi viabilizada em escala industrial.

O rápido crescimento do agronegócio no Brasil, com o aumento da área plantada e a utilização de novas técnicas de adubação, levou a que o consumo de fertilizantes no período de 1990-2006 triplicasse, enquanto que a produção doméstica de insumos agrominerais evoluiu apenas 2,93% ao ano. Este fato refletiu na forte dependência nacional em fertilizantes importados (NPK e S), aumentando a vulnerabilidade externa do país, bem representada pela importação de cerca de 92% de sais de potássio (KCl e K₂O) necessários para suprir o consumo interno. Nessa situação de extrema dependência e vulnerabilidade externa de agrominerais (NPK e S), urge que sejam priorizadas pesquisas para assegurar a provisão de insumos agrominerais e diminuir a vulnerabilidade externa do país (Brasil, 2009).

Para ampliar as reservas brasileiras de agrominerais, além de dar maior ênfase às pesquisas de depósitos continentais, o aproveitamento dos depósitos marinhos de granulados bioclásticos, sais de potássio, enxofre e fosforita podem vir a se constituir em uma alternativa importante para reduzir as importações de fertilizantes e conseqüentemente a vulnerabilidade externa.

A zona costeira possui, aproximadamente, 43 milhões de habitantes ou 18 % da população brasileira, estando localizadas no seu interior 16 (dezesseis) das 28 (vinte e oito) regiões metropolitanas regulamentadas, sendo 12 (doze) com mais

de um milhão de habitantes, incluindo Rio de Janeiro, Salvador, Recife e Fortaleza, que estão entre as sete mais populosas do país. Um adensamento populacional tão grande provoca muitas pressões nesse espaço geográfico, sendo uma delas a demanda crescente por agregados para a indústria da construção civil. A exaustão das reservas de areia próximas aos grandes centros consumidores, a contaminação das fontes de material pela poluição, as crescentes restrições ambientais para a mineração de agregados nos canais e planícies de inundação dos rios, torna o agregado marinho uma alternativa bastante atrativa para substituir aqueles extraídos de fontes continentais.

7.1 – Insumos minerais fertilizantes

A PCJB possui áreas com potencial para a exploração de granulados carbonáticos, sais de potássio, fosforita e enxofre, cujo aproveitamento pode contribuir, sobremaneira, para a demanda nacional de fertilizantes. Para os granulados carbonáticos e os sais de potássio já existe interesse de empreendedores, com áreas autorizadas para pesquisa e concedidas para lavra.

7.1.1 – Granulados carbonáticos

O *mäerl*, acumulações de algas calcárias coralináceas, do gênero *Lithothamnium*, tem sido uma fonte de calcário para correção do solo a centenas de anos, tendo sido utilizado como fertilizante na França a partir do início do século XIX, sendo responsável pela correção da quase totalidade dos solos daquele país (Grall, 2003).

Como já citado no capítulo 3, os granulados carbonáticos possuem, além dos usos como fertilizantes e ração animal, outros usos industriais em estações de tratamento de águas e esgotos, como matéria prima na fabricação de produtos farmacêuticos e cosméticos e como filtrantes.

Embora o granulado bioclástico ou *mäerl* já possua tradição de uso, principalmente na Europa, no Brasil trata-se de um produto novo, já tendo sido submetido a testes de campo e pesquisas científicas para uso como fertilizante, na nutrição animal e em farmacologia, em algumas universidades e centros de pesquisa, por iniciativa de empresas detentoras de títulos minerários. O produto (alga marinha *Lithothamnium*) está classificado e registrado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA no Anexo II da Instrução Normativa nº 5/2007, como um fertilizante mineral e corretivo de acidez do solo com as seguintes garantias mínimas: 32% de Ca e 2% de Mg.

Entre as instituições no Brasil que já realizaram algum tipo de experimento envolvendo o uso de granulados carbonáticos podem ser citadas: Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e Empresa de Pesquisas Agropecuárias (PESAGRO) (Algarea Mineração, 2005).

É importante frisar que o granulado bioclástico marinho, quando utilizado na agricultura, não é um substituto para o calcário continental usado como cor-

retivo de solo e sim um fertilizante natural que aumenta a rentabilidade dos fertilizantes químicos, havendo pesquisas científicas cujos resultados indicam que, em sendo aplicados em conjunto com o NPK, permite a redução em até 40% do seu uso, com aumento de até 20% em produtividade e melhorias na resistência a pragas e doenças.

A semelhança entre o calcário de origem continental e o granulado bioclástico se limita basicamente a alguns elementos químicos comuns a ambos. O vasto número de elementos fundamentais à nutrição contidos nas algas, mas inexistentes nos calcários dolomíticos e calcíticos e sua excepcional estrutura física diferenciam totalmente o calcário biogênico marinho de qualquer outro material. O calcário continental usado como corretivo de solos é, na realidade, uma rocha metamórfica, tendo o sedimento original passado por muitas transformações ao longo de milhões de anos. Com base nos resultados das pesquisas realizadas, são resumidas a seguir as principais características que diferenciam o granulado carbonático ou *mäerl* do calcário continental:

- um grande número de elementos, entre eles os macro e micronutrientes essenciais a fisiologia vegetal, são facilmente disponibilizados, pois estão apenas adsorvidos nas paredes das células, sendo facilmente absorvidos pelos organismos, ou seja, é altamente biodisponível para as culturas, os animais e os seres humanos;
- devido à sua estrutura de origem orgânica e alta porosidade (40 %), ele se incorpora rapidamente a biota, contribuindo significativamente para a redução da contaminação ambiental resultante da lixiviação dos fertilizantes químicos à base de NPK e defensivos agrícolas a partir do solo;
- devido ao seu poder tampão ele potencializa a produtividade agrícola porque mantém o pH do solo na faixa ideal de absorção de nutrientes (5,5 a 6,5);
- possui toda uma fauna de pequenas bactérias que não existem no calcário continental, e que servem para decompor a matéria orgânica e aumentar a porosidade dos solos; e
- ajuda no controle dos nematóides, reduzindo substancialmente sua reprodução e permitindo um grande aumento de produtividade dos solos não tratados (até 2,6 vezes) (www.algarea.com.br).

Na agricultura foram realizadas pesquisas de campo utilizando o granulado carbonático aplicado com dosagem reduzida de NPK em culturas de soja, milho, feijão, cana-de-açúcar, batata e laranja, sempre resultando em aumentos de produtividade (Melo & Furtini Neto, 2003; Araujo *et al*, 2007; Cruz *et al*, 2008, www.algarea.com.br).

O uso do granulado bioclástico em cultivos não dispensará o uso dos fertilizantes químicos importados, mas permitirá, como já dito anteriormente, reduzir em até 40% a quantidade de NPK hoje empregada, cujo preço é bem superior ao do granulado bioclástico moído, reduzindo, assim, significativamente o custo da adubação, além de se tratar de um produto totalmente natural. Sua aplicação

pode ser feita ao mesmo tempo dos demais fertilizantes (NPK), não havendo aumento do custo de adubação.

Na pecuária, foram realizados experimentos com o uso de material bioclástico marinho rico em algas calcárias moído na suplementação mineral de bovinos de corte nos municípios de Turvânia (GO) e Canarana (MT), que mostraram significativo ganho de peso dos animais, da ordem de 23 %, além de tratar-se de produto natural, sem qualquer adição química.

Melo & Moura (2008), em pesquisas realizadas em bovinos de leite, relataram que a adição da farinha de algas calcárias (*Lithothamnium*) na dieta de bovinos melhorou a qualidade e a produção de leite, promoveu aumento no ganho de peso e melhorou a digestibilidade aparente da proteína bruta de forragens de baixa qualidade.

Na tabela 7.1 são apresentados teores de Ca^{++} e Mg^{++} de amostras de granulados bioclásticos distribuídos na zona econômica exclusiva brasileira. Os resultados demonstram que as algas do gênero *Lithothamnium* possuem concentrações menores de Ca^{++} e maiores de Mg^{++} que as do gênero *Halimeda*, estando os resultados de acordo com as afirmações de Johnson (1961). Mesmo sem nenhum tratamento a maioria das amostras analisadas está de acordo com as garantias mínimas previstas no Anexo II da Instrução Normativa MAPA nº 5/2007 para utilização como fertilizante mineral e corretivo de acidez do solo.

LOCALIZAÇÃO	TEOR (%)		ALGA CALCÁRIA PREDOMINANTE
	Ca^{++}	Mg^{++}	
Banco de Tutoia Sul - Maranhão ¹	34,45	3,14	<i>Lithothamnium</i>
Banco de Tutoia Norte - Maranhão ¹	34,95	3,32	<i>Lithothamnium</i>
Banco de São Luis Leste - Maranhão ¹	34,66	1,99	<i>Lithothamnium</i>
Banco de São Luis Oeste - Maranhão ¹	37,73	1,09	<i>Halimeda</i>
Acaraú - Itarema (Costa Oeste) - Ceará ²	33,60	2,99	<i>Lithothamnium</i>
Aracati (Costa Leste) - Ceará ²	37,60	1,54	<i>Halimeda</i>
Valença - Bahia ³	30,01	3,01	<i>Lithothamnium</i>
Itapemirim (Costa Sul) – Espírito Santo ⁴	32,50	2,00	<i>Lithothamnium</i>

Tabela 7.1 – Teores de Cálcio e magnésio de amostras de granulados bioclásticos distribuídos na zona econômica exclusiva brasileira. Os teores foram calculados com dados obtidos em: (1) Acquamar, 2008; (2) Freire & Cavalcanti, 1998; (3) Fertimar, 2005; (4) Melo & Moura, 2008.

Entre outros benefícios proporcionados pelo uso dos granulados carbonáticos na agricultura, podem ser citados:

- redução na pauta de importação de fertilizantes;
- aumento das exportações de produtos agrícolas brasileiros, que terão maior competitividade no mercado externo, com a diminuição do custo dos fertilizantes importados; e

- redução da contaminação ambiental pela lixiviação dos fertilizantes químicos à base de NPK.

7.1.2 – Sais de potássio

Os depósitos evaporíticos da margem continental leste do Brasil, que se distribuem desde a bacia de Sergipe-Alagoas até a bacia de Santos, constituem-se, principalmente, de anidrita e halita, havendo deposição de sais mais solúveis no Cretáceo Inferior, em que pode ser destacada a jazida de silvinita, do Aptiano Superior da bacia de Sergipe-Alagoas, localizada em área emersa do estado de Sergipe, em lavra na Mina de Taquari-Vassoura.

Existem áreas requeridas para pesquisa mineral de sais de potássio na ZEE dos estados de Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo e São Paulo, devendo ser aguardado os resultados para que, caso sejam positivos e existam depósitos significativos nas áreas submersas, verificar a viabilidade econômica dessa exploração, visto que a mineração desses depósitos pelo método de dissolução é perfeitamente operacional, com todas as peculiaridades e dificuldades devidas à mineração *offshore* (vide item 6.2.2).

Em face da forte dependência nacional em fertilizantes importados, principalmente o potássio, aumentando cada vez mais a nossa vulnerabilidade externa, a exploração de sais de potássio de depósitos *offshore*, caso as pesquisas apresentem resultados positivos, poderá ser uma alternativa bastante viável às crescentes importações brasileiras de potássio.

7.2 – Agregados para a indústria da construção civil

Em vários países a areia e o cascalho dragados dos fundos marinhos são uma importante contribuição a demanda nacional de agregados, substituindo materiais extraídos de fontes continentais, reduzindo a extração em áreas de importância para agricultura, turismo e meio ambiente. Outro ponto relevante é que a maioria das regiões metropolitanas brasileiras encontra-se na zona costeira, podendo os agregados marinhos ser extraídos e desembarcados em áreas localizadas no interior dessas regiões, evitando, assim, longas distâncias de transporte terrestre que tanto oneram a mineração de agregados.

Areias e cascalhos marinhos dragados são também crescentemente usados em obras de retenção contra inundações e de defesa da costa. Para reconstituição de perfis de praias, os granulados marinhos são usualmente preferidos, pois são geralmente considerados mais apropriados tecnicamente, economicamente e do ponto de vista ambiental.

Os agregados marinhos são amplamente utilizados na indústria da construção civil em vários países do mundo, na fabricação de todos os tipos de concreto. Entre os que extraem agregados de suas plataformas continentais para utilização na construção civil, destacam-se Japão, Reino Unido, França, Países Baixos, Bélgica, Suécia, Alemanha, Finlândia, Dinamarca e Nova Zelândia. No caso da extração de granulados marinhos para uso na reconstituição de perfis de praia esta

relação será bastante ampliada, incluindo, entre outros, Estados Unidos, Canadá, Espanha, Austrália e Brasil (Vide tabela 3.1).

Os maiores problemas para utilização dos agregados marinhos na construção civil podem ser os teores em sais e em conchas. No caso dos teores em sais, como se tratam essencialmente de areias quartzosas ou quartzo-feldspáticas, os sais presentes nos agregados marinhos não são provenientes dos mesmos, mas unicamente da água do mar, não sendo necessário, na maioria dos casos, mais do que o escoamento adequado do agregado para saída da água que contém os sais. Com relação à presença de conchas, se for excessiva é considerada como nociva, devendo o agregado passar por um peneiramento.

Na Grã-Bretanha, para a maioria dos tipos de concreto, as areias marinhas são utilizadas sem lavagem. Na França, o *Laboratoire de Géologie Marine et Appliquée de Nantes* acha fundamental que a areia marinha seja submetida a um processo de escoamento, pois bem escoada, já que os sais estão contidos na água do mar, a concentração de sal será inferior a 0,17%, com uma umidade de 5% (Boutmin, 1986).

A presença excessiva de conchas calcárias na areia é considerada como nociva para o concreto pelas normas francesas, sendo considerada aceitável, sem restrições, a areia com teores de CaCO_3 inferiores a 10%. O peneiramento a 4 ou 5 mm diminui quase sempre e sensivelmente o teor em conchas, essencialmente por eliminação das conchas inteiras, que são as mais nocivas e, geralmente, estão restritas as frações mais grossas (Augris & Cressard, 1984). Nas normas brasileiras não são feitas referências as conchas calcárias como substâncias nocivas para a fabricação de concreto.

No Brasil, foi realizado estudo de caracterização das areias marinhas em área na plataforma continental de Fortaleza, estado do Ceará. Foram realizados os estudos habituais para caracterização do agregado para concreto, de acordo com as normas brasileiras, tendo sido realizado o estudo similar em amostras de agregado não marinho utilizado habitualmente na fabricação do concreto para comparação. O agregado marinho apresentou resultados bastante satisfatórios com relação à composição granulométrica, a reatividade potencial e a presença de material pulverulento, argila em torrões, impurezas orgânicas e micas, sendo, inclusive, no caso das impurezas orgânicas, superiores a algumas das areias continentais em exploração (Cavalcanti, 1998).

O mesmo estudo concluiu que, em relação ao teor de CaCO_3 , menos de 20 % das amostras analisadas apresentaram valores inferiores a 30 %, sendo necessário um peneiramento a 4 mm das amostras e ensaios em corpos de prova para comprovar se essas areias são ou não adequadas para utilização na construção civil.

Quanto à presença de sais nas areias marinhas, mais de 90 % das areias marinhas estudadas foram classificadas como não salinas, para descarregamento hidráulico em tremonha, podendo ser utilizadas para a fabricação de argamassas e de qualquer tipo de concreto armado ou não. Todas as areias com classificação

textural de areia grossa ou de textura mais grossa sempre são classificadas como não salinas, quando descarregadas hidraulicamente em tremonha, ou seja, quando são submetidas ao escorrimento adequado (Cavalcanti, 1998).

Neste caso específico, o teor em conchas acima da especificação deve-se ao tipo de depósito escolhido para caracterização, ou seja, trata-se de uma antiga linha de praia, retrabalhada pelas ondas e marés, o que faz com que não seja o tipo de depósito mais indicado para exploração, visto que apresentará uma maior quantidade de conchas que um depósito de origem fluvial, muito embora isto possa ser corrigido com o peneiramento a 4 mm. Como, dependendo da granulometria e de um descarregamento adequado, a presença de sais não se constitui em problema para a fabricação do concreto, os melhores depósitos para exploração estão representados por paleovales, em que as areias marinhas apresentam as mesmas características daquelas de origem similar exploradas no continente, podendo ser delimitados por levantamento geofísico das áreas próximas aos centros consumidores.

8 – IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO MARINHA

As principais atividades de exploração mineral realizadas no fundo marinho são a extração de granulados, de pláceres e de petróleo e gás. No Brasil, excetuando a exploração de petróleo e gás, que não será abordada aqui, a mineração no mar se restringe a extração de areias e cascalhos para reconstrução da linha de praia e a extração pontual e descontínua de granulados carbonáticos.

A exploração do leito do mar, seja qual for a sua finalidade e as precauções tomadas, resulta em modificações temporárias ou permanentes do ambiente marinho. O oceano é um sistema complexo e interdependente partilhado por recursos vivos e não-vivos, de tal forma que uma mudança pode vir a causar uma tendência irreversível no meio.

A extração mineral pode reverter em benefícios para sociedade, mas também causar impacto ao meio ambiente. O desafio da sociedade será conciliar o conflito entre benefícios sociais e impactos ambientais da mineração marinha.

O *International Council for the Exploration of the Sea (ICES)* possui um grupo de trabalho permanente sobre os efeitos da extração de sedimentos nos ecossistemas marinhos que elaborou um guia de orientação para a extração mineral marinha para as autoridades reguladoras dos países membros, com o objetivo de conciliar o aproveitamento de um recurso finito, com os impactos ambientais a ele associados (ICES, 2003b). De acordo com este documento, os princípios gerais para o gerenciamento sustentável dos recursos minerais globais incluem:

- a conservação dos bens minerais, desde que sejam assegurados materiais adequados para suprir as demandas da sociedade;
- o encorajamento do uso eficiente dos bens minerais (e onde apropriado reuso), minimizando perdas e evitando a utilização de materiais de melhor qualidade em situações em que os materiais de menor qualidade seriam suficientes;
- assegurar que os métodos de extração minimizem os impactos adversos no ambiente, preservando a qualidade do meio;
- a sustentabilidade de um ecossistema está relacionada com o gerenciamento das atividades de extração e identificação de áreas apropriadas para esta atividade;
- a proteção de áreas sensíveis e habitat importantes (como áreas de conservação marinha), indústrias (inclusive pesqueiras) e os interesses de outros legítimos usos do mar; e
- prevenir um desnecessário esgotamento dos recursos minerais.

Os efeitos das extrações realizadas por dragagens no ambiente marinho são descritos em vários trabalhos, tendo por base experiências realizadas em vários países, estando este capítulo baseado, principalmente, em Debyser (1975), Migniot & Viguier (1978, 1980), Boutimin (1986); Desprez (1993), ICES (2003b) e Cayocca & Gardin (2003).

8.1 – Impacto na coluna d'água e no fundo marinho

Os impactos da extração mineral por dragagem consistem na alteração da topografia do fundo pela extração de sedimentos, aumento da turbidez da coluna d'água e deposição de rejeito das águas de sangramento da draga (Figura 8.1).

Após a extração mineral, a consequência mais imediata da atividade de dragagem é a modificação da morfologia do fundo, que pode alterar o sistema de correntes de fundo nas proximidades do local utilizado. Ao alterar o equilíbrio dos sedimentos em superfície, estas extrações podem causar ou agravar a erosão costeira, em especial se ocorrerem perto da costa e em águas rasas.

A extração de uma espessura significativa de sedimentos por dragagem pode provocar uma queda localizada de intensidade das correntes de fundo devido ao aumento da profundidade, permitindo a deposição de sedimentos mais finos. O enchimento dos poços e das valas de dragagens é sempre muito lento, salvo nos setores de areias móveis e em zonas de forte turbidez.

As escavações resultantes de uma exploração de agregados modificam a topografia do fundo, perturbando a circulação das águas e conseqüentemente o transporte sedimentar, o que pode vir a ocasionar erosão da zona litorânea. Migniot & Viguiet (1978) consideram que a profundidades superiores a 25 metros, os efeitos são negligenciáveis sobre a estabilidade do litoral.

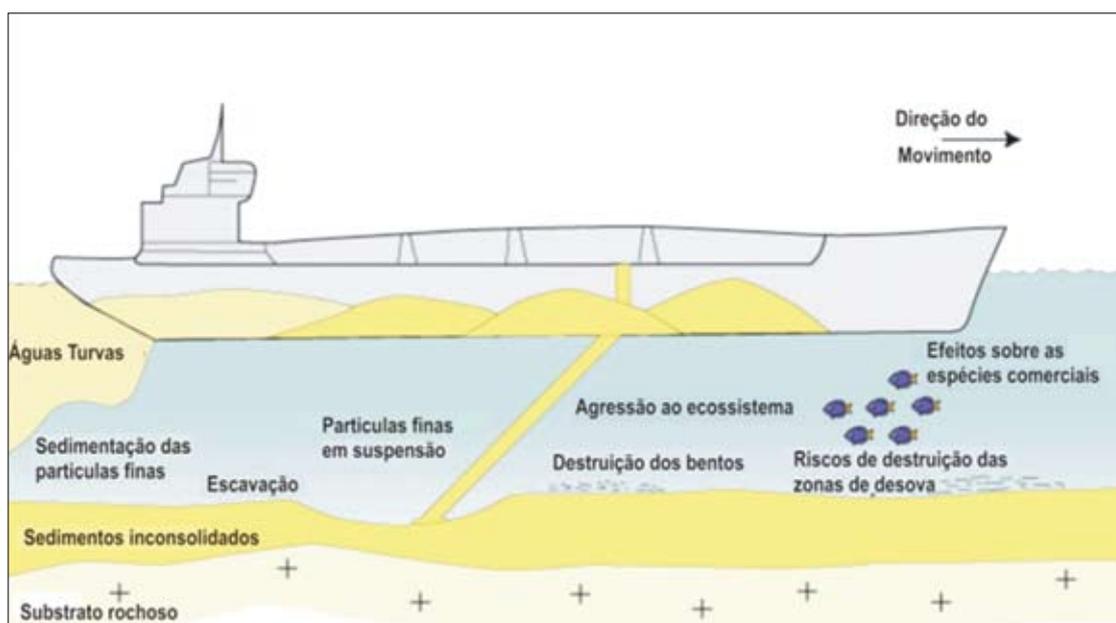


Figura 8.1 – Principais impactos ambientais das extrações por dragagem em ambiente marinho. Adaptado de http://wwz.ifremer.fr/drogm/ressources_minerales/materiaux_marins/environnement/_impacts_sur_le_milieu

A dragagem produz uma pluma turva na coluna d'água, formada pela fração mais fina do material dragado e sua importância depende da proporção de vasas no sedimento e da turbidez natural da água. Esta turbidez de algumas horas pode, excepcionalmente, persistir vários dias ou até meses após as operações, dependendo de fatores hidrodinâmicos e da textura das partículas colocadas em

suspensão. Esta pluma de sedimentos está sujeita a deriva pela ação das correntes de fundo, podendo causar impactos em áreas que não sofreram dragagem.

A diminuição da penetração luminosa causada pela pluma turva pode afetar a produção de fitoplâncton, podendo ainda perturbar o desenvolvimento de organismos não tolerantes as águas turvas.

A formação temporária da pluma turva, a entrada de uma baía, por exemplo, pode prejudicar a migração de certas espécies.

O depósito de material fino da pluma turva será particularmente importante na zona de dragagem, sua extensão fora dessa zona dependerá da força das correntes, da salinidade e da temperatura da água, assim como da textura das partículas em suspensão.

Outros impactos, como o ruído das máquinas de exploração, perda de combustível e muitos outros acidentes também podem ocorrer.

8.2 – Impacto na biota

O impacto de uma operação de dragagem depende da natureza dos impactos físicos e das comunidades bêntônicas envolvidas. As espécies potencialmente ameaçadas pela extração mineral por dragagem são as que utilizam o fundo como local de ponte ou de alimentação (lagosta, arenques, caranguejos e outros), bem como as algas calcárias que vivem no fundo marinho (Figura 8.1).

O caráter intensivo da exploração e o tipo de dragagem são importantes no dimensionamento do impacto sobre uma comunidade bentônica, podendo ser considerado que:

- quanto maior for a operação, maior será o impacto sobre a biota e mais lenta será a recolonização.
- o tipo de dragagem modificará a natureza do impacto. A extração em ponto fixo tem um efeito importante (10 a 20 metros de profundidade), mas localizado, tanto sobre a morfologia do fundo quanto sobre a fauna. Já a extração por aspiração em movimento, tem um impacto bem mais pronunciado, com a escavação de valas de cerca de 2 metros de largura, que podem ser aprofundadas, pelas repetidas passagens da draga, até 2 metros de profundidade (Figura 8.2). Este último método é normalmente preferido, pois deixa o fundo em um estado aproximado das condições iniciais, facilitando o processo de recolonização pela fauna bêntônica, bem como para a pesca por arrasto.

A natureza do sedimento que aparece após a dragagem ou aquele que se acumula nas valas do sítio de extração, influencia fortemente a estrutura e a composição da comunidade recolonizadora, a qual será mais parecida com a comunidade inicial quanto mais semelhanças houver entre a cobertura sedimentar antes e depois da dragagem. No caso da cobertura sedimentar posterior a dragagem não se assemelhar a inicial, ocorrerá o aparecimento de novas espécies características do novo substrato.

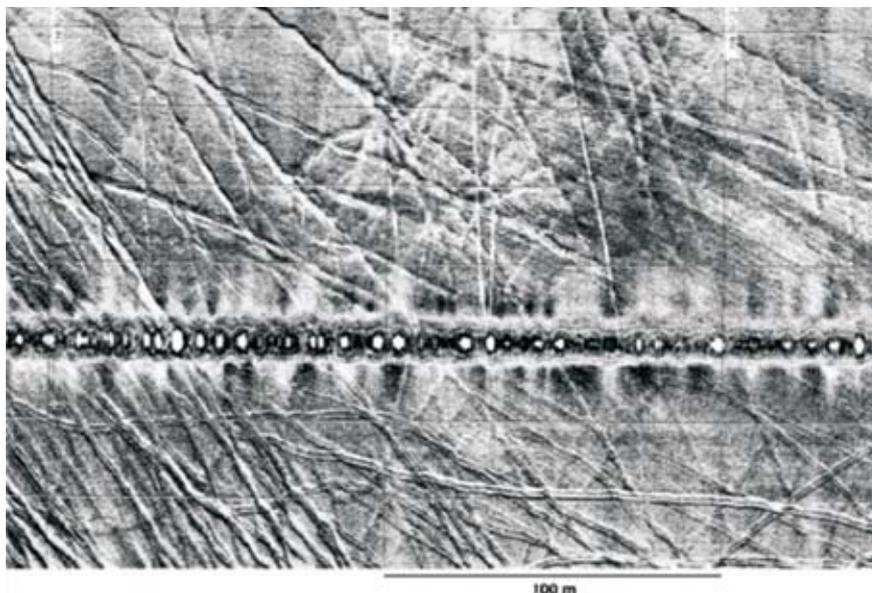


Figura 8.2 – Registro Sonográfico mostrando os traços da extração por dragagem ao largo de Dieppe, norte da França. Fonte: <http://wwwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Environnement/Impacts-sur-le-milieu>

A reestruturação dos bentos depois da dragagem é influenciada pela qualidade dos novos sedimentos que apareceram ou pelo acúmulo no sítio de extração, pelo estoque de larvas e adultos das espécies potencialmente recolonizadoras e pela natureza e intensidade do *stress* que suporta habitualmente a comunidade.

O processo de recolonização assemelha-se ao observado após uma poluição orgânica ou depois de fortes tempestades. As primeiras espécies serão de adultos da epifauna que habitam os sedimentos adjacentes não perturbados.

A recolonização é rápida nas comunidades de substrato móvel expostas a perturbações regulares e que são dominadas por espécies oportunistas de curto ciclo de vida, sendo mais lenta nas comunidades estáveis. Uma restauração completa dos bentos pode levar de um mês a quinze anos ou mais.

Uma quantificação do impacto das extrações sobre a fauna marinha e os peixes é muito difícil. Estudos realizados no Mar do Norte mostram que, fora das zonas de desova, o impacto sobre os estoques de peixes será praticamente negligenciável.

As regiões profundas também sofrem impactos devido à mineração de nódulos polimetálicos, pois a extração desses nódulos remove junto a infauna e a epifauna que os colonizam. De acordo com Bluhm (1994) e Bluhm *et al* (1995), a extração de nódulos de mar profundo causa a destruição do habitat da biota de fundos consolidados, resultando no desenvolvimento de uma fauna típica de fundos não consolidados. A mineração de sulfetos hidrotermais em cordilheiras mesoceânicas também pode causar impactos a uma biota de características ímpares e pouco conhecida, pois os ecossistemas de oceano profundo são os que apresentam a maior biodiversidade do planeta, o que pode representar a perda de recursos de valor ainda não avaliados (Gomes *et al*, 2000).

9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são reunidos os pontos considerados mais importantes, que estão a seguir elencados.

- A dependência externa do Brasil em agrominerais (NPK e S) ocasiona que o aproveitamento dos depósitos marinhos de granulados bioclásticos, sais de potássio, enxofre e fosforita seja uma alternativa importante e viável para reduzir as importações de fertilizantes e conseqüentemente a vulnerabilidade externa.
- A exaustão das reservas de areia próximas das regiões metropolitanas costeiras, a contaminação das fontes de material pela poluição, as crescentes restrições ambientais para a mineração de agregados nos canais e planícies de inundação dos rios tornam o agregado marinho uma alternativa bastante atrativa para substituir aqueles extraídos de fontes continentais e ter papel importante na demanda nacional de agregados, situação esta que já ocorre em vários países do mundo.
- O aumento da erosão costeira causado pela acentuada urbanização vem provocando, ao longo de toda a costa brasileira, problemas muito sérios, causando prejuízos materiais significativos e inviabilizando áreas atraentes para o turismo. O uso de areias e/ou cascalhos marinhos em projetos de reconstrução de praias já é amplamente utilizado em várias partes do mundo, há várias décadas, e mais recentemente no Brasil em grandes cidades e em locais de interesse turístico, com o objetivo de diminuir os efeitos severos da erosão na linha de costa.
- Ao longo da zona costeira brasileira, são conhecidos depósitos de ilmenita, monazita e zirconita tanto na faixa emersa quanto submersa, alguns inclusive já explorados ou em exploração, mas as ocorrências de diamante, rutilo e ouro, só foram identificadas em áreas emersas. A prospecção de plácers marinhos geralmente tem ocorrido pela extensão submarina dos depósitos emersos, sendo a descoberta de acumulações importantes no litoral, a primeira indicação da possibilidade de existência de depósitos ainda desconhecidos, recobrando o assoalho marinho. O desenvolvimento de novas tecnologias de recuperação de depósitos minerais em profundidades de mais de 100 metros de lâminas d'água em oceano aberto abre perspectivas para o seu aproveitamento na zona econômica exclusiva brasileira, caso sua existência seja confirmada em concentrações e volumes suficientes que justifiquem sua extração.
- Para os recursos minerais de aproveitamento futuro é da maior importância o investimento em tecnologia de pesquisa e lavra mineral em mar profundo para que o Brasil diminua o atraso tecnológico em relação a outras nações, bem como tenha condições de concorrer para realizar pesquisas minerais em áreas de jurisdição internacional adjacente a nossa PCJ. O Brasil, através da Petrobras, teve um grande salto no desenvolvimento de tecnologia de exploração de petróleo e gás em mar profundo, mas para outros recursos minerais os resultados, nesse sentido, foram praticamente inexistentes, havendo, no entanto, um grande potencial para desenvolvimento de tecnologia de pesquisa e lavra de recursos minerais a partir do conhecimento existente em petróleo e gás.

- Com relação à regulamentação da atividade de pesquisa e lavra mineral marinha no Brasil, ainda não há uma legislação específica que contemple as peculiaridades do ambiente marinho como existente em outros países com maior tradição nesta atividade. Mas este não é um problema local, tanto em outros países quanto na Área Internacional inúmeras são as questões regulatórias relativas à mineração no mar que ainda não foram resolvidas, sendo este mais um fator de risco, além dos fatores técnicos e financeiros, para as empresas que têm interesse em realizar investimentos na mineração *offshore*.
- Criação de **áreas prioritárias para a exploração mineral**, caracterizadas pelo alto potencial para determinado insumo ou insumos minerais e pouca relevância ambiental. Para a definição dessas áreas será necessário um levantamento morfo-sedimentar do fundo marinho em escala de detalhe, produzindo um conhecimento mínimo e essencial para também nortear a criação de novas unidades de conservação marinhas e tornar menos problemática a emissão de licenças ambientais pelo IBAMA. A criação dessas áreas será fundamental para viabilizar a exploração de forma sustentável tanto de recursos minerais quanto de petróleo e gás.
- A extração mineral pode reverter em benefícios para sociedade, mas como qualquer outra atividade terrestre ou marítima também causa impacto ao meio ambiente. O desafio será conciliar o conflito entre benefícios sociais e impactos ambientais da mineração marinha, ou seja, até que ponto a mineração no mar é sustentável.
- Embora o Brasil ainda não tenha desenvolvido uma indústria mineral marinha, a mineração marinha de minerais pesados, diamante, granulados bioclásticos e agregados já é uma indústria madura e tradicional em outros continentes. No mundo, está nascendo uma indústria de mineração de mar profundo de sulfetos de metais preciosos e nódulos polimetálicos ainda com muitos obstáculos a serem superados, além dos técnicos e financeiros, que são os regulamentos nacionais e da ONU que regulam a exploração marinha e as atividades de mineração, e, principalmente, a percepção pública de que essas atividades possam ser excessivamente lesivas ao meio ambiente. O melhor caminho a seguir é a realização de discussões em fóruns apropriados entre a indústria, os pesquisadores e a sociedade em geral, embasadas por um profundo conhecimento do assunto.
- A PCJB é a última fronteira a ser suplantada pela indústria de mineração brasileira que já conquistou a Amazônia, viabilizando grandes projetos de mineração na floresta de forma sustentável. O Brasil, líder em vários setores da mineração mundial e pioneiro na exploração de petróleo e gás *offshore*, mesmo com uma zona econômica exclusiva de 3,5 milhões de quilômetros quadrados, ainda não conseguiu se firmar na mineração marinha, o que pode ser atribuído, principalmente, a falta de prioridade para a implementação de políticas públicas voltadas para o mar.

10 – REFERÊNCIAS

10.1 – Bibliográficas

- ACQUAMAR. 2008. *Projeto Calcário Marinho: Plataforma Continental do Maranhão*. São Luis, 2008, 5p.
- ALGAREA MINERAÇÃO LTDA. 2005. *Estudo de Impacto Ambiental para Exploração de Algas calcárias na Plataforma Continental do Espírito Santo*. EIA/RIMA, fevereiro/2005, 74p.
- ARAÚJO, P.O. L.C.; GONÇALVES, F.C.; RAMOS, J.D.; CHALFUN, N.N. & CARVALHO, G.J. 2007. Crescimento e percentual de emergência de plântulas de critumeleiro "Swingle" em função dos substratos e das doses de corretivo à base de *lithothamnium*, após cem dias da sementeira. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(4):982-988, 2007.
- ATMANAND, M.A.; HEYDON, D. & MORGAN, C. 2008. Manganese Nodules. In: Scott, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. ECOR, setembro/2008, p. 6-11
- ATMANAND, M.A.; MORGAN, C. & SCOTT, S. 2006. Manganese Nodules. In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: A Future Resource. Report of the ECOR Specialist Panel on Marine Mining*. ECOR Symposium, março/2006, p. 4-7.
- AUGRIS, C. & CRESSARD, A.P. 1984. *Les granulats marins*. CNEXO, 1984, 89p. (Rapports scientifiques et techniques, 51).
- BATCHELOR, D. & SURAWARDI. 2008. Tin Placers. In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. ECOR, setembro/2008, p. 21-24
- BLUHM, H., 1994. Monitoring megabenthic communities in abyssal manganese nodule sites of the East Pacific Ocean in association with commercial deep-sea mining. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 4: 187-201, 1994.
- BLUHM, H.; SCHRIEVER, G & THIEL, H., 1995. Megabenthic recolonization in na experimentaly disturbed abyssal manganese nodule area. *Marine Georesources and Geotechnology*, 13: 393-416, 1995.
- BOTELHO, F.V.C. 2008. Análise Numérica do Comportamento Mecânico do Sal em Poços de Petróleo. Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2008, 211 p. (Dissertação de mestrado).
- BOUTMIN, G. 1986. *Dragage et exploitation des sables marins: qualité des matériaux et conséquences sur le milieu*. Nantes, Université de Nantes, 1986, 201p. (Tese de Doutorado).
- BRASIL, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2009. *Geologia da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes*. Programa Geologia do Brasil / Programa REMPLAC, Edição 2009, 1 DVD (Dados organizados em sistema de informação geográfica).
- BRASIL, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. 2009. *Economia mineral do Brasil*. Rodrigues, A.F.S. & Ferraz, C.P. (Coord.), Brasília, Cidade Gráfica e Editora Ltda, 2009, 764p.
- BUFFETT, B.A., 2000. Natural Gas Hydrates. *Ann.Rev. Earth. Plan. Sci.*, 20: 1567-1570, 2000.
- CARANNANTE, G.; ESTEBAN, M.; MILLIMAN, J.D. & SIMONE, L. 1988. Carbonate litofacies as paleolatidade indicators: problems and limitations. *Sedimentary Geology*, 60:333-346, 1988.
- CAVALCANTI, V.M.M. 1998. Qualidade das areias marinhas para utilização como agregado na construção civil, na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Universidade Federal do Ceará, 1998, 87p. (Dissertação de Mestrado)
- CAVALCANTI, V.M.M.; FREIRE, G.S.S.; GOMES, D.F. 1993. Depósitos de minerais pesados de interesse econômico na plataforma interna leste do Estado do Ceará. *Rev.Geol.*, Fortaleza, 6:75-91, 1993.
- CAYOCCA, F. & GARDIN, B. 2003. Assessing the impact of sand extraction on the shore stability: Project for a methodological framework. *European marine sand and gravel – shaping the future*, EMSAGG Conference, 20 a 21 de fevereiro de 2003, Delft University, Holanda, 5p.
- CLENNELL, M.B. 2000. Hidrato de gás submarino: natureza, ocorrência e perspectivas para exploração na Margem Continental brasileira. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3):397-410,2000.
- CRUZ, M. C. M.; HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D. & RAMOS, P. S. 2008. Desenvolvimento do porta-enxerto de tangerineira 'Cleópatra'. *Rev. Bras. Frutic.* [online], 30 (2) 471-475, 2008.
- DEBYSER, J. 1975. *Les problemes de l'environnement liés a l'exploitation des sables et graviers marins*. CNEXO, 1975, 10p. (note technique n.º 51)
- DESPREZ, M. 1993. *Impact de l'extraction de granulats marins sur le milieu marin*. 1993. CIEM/IFREMER/GEMEL, 1993, 48p.
- DIAS, G.T.M. 2000. Granulados bioclásticos – algas calcárias. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3):307-318, 2000.
- DIAS, J. 2008. Estratigrafia e sedimentação dos evaporitos neo-aptianos na margem leste brasileira. In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P. & ANJOS, S.M.C. (Ed.). *Sal: geologia e tectônica*. Beca Edições Ltda., 2008, p. 222-231 (Capítulo IX)
- EMERY, K.O. & NOAKES, L.C. 1968. Economic placer deposits of the continental shelf. *Technical Bull. Economic Comission for Asia and Far East*, U.N., 1(1): 95-110, 1968.
- FERTIMAR MINERAÇÃO LTDA. 2005. *Relatório de Impacto Ambiental da exploração de sedimentos biodetríticos marinhos na Foz do Rio Jequiriça, município de Valença, Bahia*. EIA/RIMA, 2005, 104p.
- FINKL, C.W. & BENEDET, L.A. 2003. Jet Probes, Jet Probing. *The Encyclopedia of Coastal Science*, 2003, 21p.
- FLORÊNCIO, C.P. 2008. A mineração de evaporitos. In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P. & ANJOS, S.M.C. (Ed.). *Sal: geologia e tectônica*. Beca Edições Ltda., 2008, p. 406-415 (Capítulo XIX)
- FREIRE, G.S.S & CAVALCANTI, V.M.M. 1998. *A Cobertura sedimentar quaternária da plataforma continental do Estado do Ceará*. Fortaleza, DNP/ UFC, 1998, 42p. il. mapa.
- GARNETT, R.H.T., 2000a. Marine placer diamonds, with particular reference to Southern Africa. In: CRONAN, D.S. (Ed.), *Handbook of Marine Mineral Deposits*, CRC Press, 2000, p.103–141.
- GARNETT, R.H.T., 2000b. Marine placer gold, with particular reference to Nome, Alaska. In: CRONAN, D.S. (Ed.), *Handbook of Marine Mineral Deposits*, CRC Press, 2000, p.67–101.
- GOMES, A. S.; PALMA, J. C. & SILVA, C. G. 2000. Causas e conseqüências do impacto ambiental da exploração dos recursos minerais marinhos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3) 447-454, 2000.

- GRALL, J. 2003. Fiche de synthèse sur les biocénoses : les bancs de maerl, *Rebent - Réseau Benthique*, décembre 2003, 20p.
- HEIN, J.R. 2006. Ferromanganese Crusts. In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: A Future Resource. Report of the ECOR Specialist Panel on Marine Mining*. ECOR Symposium 2006, março/2006, p. 7-9.
- HEIN, J.R. & RONA, P.A. 2008. Phosphorite In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. ECOR, setembro/2008, p.4-6.
- HEYDON, D. & SCOTT, S.D. 2006. Seafloor massive sulfides. In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: A Future Resource. Report of the ECOR Specialist Panel on Marine Mining*. ECOR Symposium 2006, março/2006, p. 9-12.
- HEYDON, D. & SCOTT, S.D. 2008. Seafloor massive sulfides. In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. ECOR, setembro/2008, p. 13-18.
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA. 2003a. *Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem*. 01-05/04/2003, Ostend, 104 p. (ICES WGEXT Report 2003)
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA. 2003b. Guidelines for the management of marine sediment extraction. In: *Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem*. 01-05/04/2003, Ostend, 104 p. (ICES WGEXT Report 2003)
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA. 2007. *Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem*. 17-20 Abril 2007, Helsinki, 92 p. (ICES WGEXT Report 2007)
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA. 2008. *Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem*. 08-11 Abril 2008, Burnham-on-Crouch, 86 p. (ICES WGEXT Report 2008)
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA. 2009. *Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem*. 14-17 Abril 2009, New York, 98 p. (ICES WGEXT Report 2009)
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA. 2010. *Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem*. 31/05 a 04/06/2010, Djurönäset, 106 p. (ICES WGEXT Report 2010)
- JOHNSON, J.L. 1961. *Limestone-Building algae and algal limestone*. Denver, 1961, Publishing Company, 297p.
- KLEIN, A.H.; GRIEP, G.; CALLIARI, L.J.; VILLWOCK, J.A. 1992. Ocorrência de concreções fosfáticas no Terraço do Rio Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 37, 1992, São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos...*, São Paulo, SBG, 1992, p.202-203.
- KUDRASS, H.R. 2000. Marine placer deposits and sea-level changes. In: CRONAN, D.S.(Ed.), *Handbook of Marine Mineral Deposits*, CRC Press, Boca Raton, p. 3-26.
- MARTINS, L.R.S. & SOUZA, K. G. 2007. Ocorrência de recursos minerais na Plataforma Continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. *Parcerias Estratégicas*, Número 24, p. 137-190, Agosto/2007 (Edição Especial – Estudos do Mar).
- MELO, PC & FURTINI NETO, A.E. 2003. Avaliação do *Lithothamnium* como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes para o feijoeiro. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 27(3) 508-519, 2003.
- MELO, T.V. & MOURA, A. M. A. 2008. Utilização da farinha de algas calcáreas na alimentação animal. *Archivos de zootecnia*, 58(R)99-107, 2008.
- MENOR, E.A.; COSTA, M.P.A. & GUAZZELLI, W. 1979. Depósitos de fosfato. In: AMARAL, C.A.B. (Ed.). *Recursos Minerais da margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes (Relatório Final)*. Rio de Janeiro, Série Projeto REMAC, N. 10, p. 51-72.
- MIGNIOT, C. & VIGUIER, J. 1978. Influence de l'extraction en mer des granulats sur l'équilibre du littoral. In: *Séminaire International Ressources Minérales Sous-Marines – Offshore Mineral Resources*, Orléans (França), 1978, Documents BRGM, (7): 97-129.
- MIGNIOT, C. & VIGUIER, J. 1980. Influence de l'extraction des granulats em mer sur l'équilibre littoral. *La Houille Blanche*, 35 (3):177-194, 1980.
- MONT'ALVERNE, A. & COUTINHO, P.N. 1982. Províncias Sedimentares da Plataforma Continental de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador, *Anais...* SBG, Salvador, 1524-1530.
- MORGAN, C.L. 2000. Resource estimates of the Clarion-Clipperton manganese nodule deposits. In: CRONAN, D.S.(Ed.), *Handbook of Marine Mineral Deposits*, CRC Press, London, p. 145-170.
- PALMA, J.C. 1979. Depósitos de Minerais Pesados. In: AMARAL, C.A.B. (Ed.). *Recursos Minerais da margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes (Relatório Final)*. Rio de Janeiro, Série Projeto REMAC, N. 10, p. 33-50.
- PALMA, J.J.C. & PESSANHA, I.B.M. Depósitos ferromanganesíferos de oceano profundo. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3):431-446, 2000.
- ROCHA, J.M. 1979. Depósitos Subsuperficiais: Carvão, Evaporitos e Enxofre. In: AMARAL, C.A.B. (Ed.). *Recursos Minerais da margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes (Relatório Final)*. Rio de Janeiro, Série Projeto REMAC, N. 10, p. 99-110.
- RONA, P.A. 2008. Heavy Mineral Placers. In: SCOTT, S.D. (Ed.). *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. ECOR, setembro/2008, p. 18-21.
- ROULIER BRASIL LTDA. 2007. *Fotos submarinas do fundo marinho ao largo de Tutoia, Maranhão*. setembro/2007.
- SANTANA, C. I. 1979. Recursos minerales del mar. In: SIMINARIO SOBRE ECOLOGIA BENTÔNICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Montevideo. *Memorias...* UNESCO/ROSTLAC, 1979. p.361-382.
- SANTANA, C. I. 1999. Mineral resources of the brazilian continental margin and adjacent oceanic regions. In: MARTINS, L. R. & SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. OAS/IOC-UNESCO/MCT, p. 15-25. (Special Publication)
- SCOTT, S.D. 2006. *Mineral Deposits in the Sea: A Future Resource. Report of the ECOR Specialist Panel on Marine Mining*. ECOR Symposium 2006, março/2006, 13p.
- SCOTT, S.D. 2008. *Mineral Deposits in the Sea: Second Report of the ECOR Panel on Marine Mining*. ECOR, setembro/2008, 36 p.
- SILVA, C.G. 2000. Placers marinhos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3):327-336, 2000.
- SOUZA, J.M. 1999. Mar Territorial, Zona Econômica Exclusiva ou Plataforma Continental?. *Revista Brasileira de Geofísica*, 17(1):79-82, 1999.
- SOUZA, K. G. & MARTINS, L.R.S. 2008. Recursos minerais marinhos: pesquisa, lavra e beneficiamento. *Gravel*, 6(1):99-124, 2008.
- SOUZA-LIMA, W. 2008. Sequências evaporíticas da bacia de Sergipe-Alagoas. In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P. & ANJOS, S.M.C. (Ed.). *Sal: geologia e tectônica*. Beca Edições Ltda., 2008, p. 232-251 (Capítulo X)
- SUMMERHAYES, C. P. 2008. Ocean resources. In: SUMMERHAYES, C. P.; THORPE, S. A. (Ed.). *Oceanography*. London: Manson Publishing, 1998, p. 314-337.

ZENITH MARÍTIMA LTDA. 2005. *Relatório de Vistoria nas Áreas Requeridas pela Empresa Talento para Pesquisa Mineral no Litoral do Espírito Santo*. Vitória, abril/ 2005, 31p.

10.2 – Textos Legais citados

Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em 29 11 2010

Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Organização Das Nações Unidas (1982).

Disponível em: http://www2.mre.gov.br/dai/m_1530_1995.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto-Lei

Decreto-Lei nº 1.098, de 25 de março de 1970. Altera os limites do mar territorial do Brasil e dá outras providências. Revogado pela Lei nº 8.617/1993.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/1965-1988/Del1098.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei n.º 1.985, de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas) e institui o Código de Mineração.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del0227.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei Ordinária

Lei nº 2004, de 3 de outubro de 1953. Dispõe sobre a Política Nacional do Petróleo e define as atribuições do Conselho Nacional do Petróleo, institui a Sociedade Anônima, e dá outras providências. Revogada pela Lei nº 9.478/1997.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L2004.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978. Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências. (Regime de Licenciamento).

Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=7>. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989. Altera a Lei n.º 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, a Lei n.º 7.735/89, a Lei n.º 6.803/80, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7804.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993. Dispõe sobre o mar territorial, a zona contígua, a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileiros, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8617.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 8.982, de 24 de janeiro de 1995. Dá nova redação ao art. 1º da Lei n.º 6.567/78, alterado pela Lei n.º 7.312, de 16 de maio de 1985.

Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=21>. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 9.314, de 14 de novembro de 1996. Altera dispositivos do Decreto-lei n.º 227/67 (Código de Mineração) e dá outras providências.

Disponível em:

<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=24>. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 9.478 de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9478.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 9.605/98, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 9.827, de 27 de agosto de 1.999. Acrescenta parágrafo único ao art. 2.º do Decreto-Lei n.º 227, de 28 de fevereiro de 1967, com a redação dada pela Lei nº 9.314/96.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9314.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei n.º 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L10165.htm. Acesso em 29 11 2010

Lei Complementar

Lei Complementar nº 97, de 9 de junho de 1999. Dispõe sobre as normas gerais para a organização, o preparo e o emprego das Forças Armadas.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp97.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto

Decreto nº 62.934/68, de 2 de abril de 1968. Aprova o Regulamento do Código de Mineração.

Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=29>. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 74.557, de 12 de setembro de 1974. Cria a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D74557.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre Plano de Recuperação de Área Degradada pela Mineração.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 98.145, de 15 de setembro de 1989. Aprova o Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D98145.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei n.º 6.902/81 e a Lei n.º 6.938/81, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99274.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 3.358, de 02 de fevereiro de 2000. Regulamenta o disposto na Lei nº 9.827, de 27 de agosto de 1999, que "acrescenta parágrafo único ao art. 2º do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, com a redação dada pela Lei nº 9.314, de 14 de novembro de 1996".

Disponível em: <http://www.dnrm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=44>. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 3.939, de 26 de setembro de 2001. Dispõe sobre a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D3939.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4340.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 5.377/2005, de 23 de fevereiro de 2005. Aprova a Política Nacional para os Recursos do Mar - PNRM.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5377.htm. Acesso em 29 11 2010

Decreto nº 6.678, de 08 de dezembro de 2008. Aprova o VII Plano Setorial para os Recursos do Mar.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6678.htm. Acesso em 29 11 2010

Resolução do Conselho Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM

Resolução CIRM nº 004, de 03/12/1997. Cria o Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira.

Resolução CIRM nº 003, de 16/09/2009. Cria o Programa de Prospecção e Exploração de Recursos Minerais da Área Internacional do Atlântico Sul e Equatorial.

Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em 29 11 2010

Resolução CONAMA nº 009, de 6 de dezembro de 1990. Dispõe sobre normas específicas para a obtenção da licença ambiental para a extração de minerais, exceto as de emprego imediato na construção civil.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=106>. Acesso em 29 11 2010

Resolução CONAMA nº 010, de 6 de dezembro de 1990. Dispõe sobre o estabelecimento de critérios específicos para a extração de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=107>. Acesso em 29 11 2010

Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 – Dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>. Acesso em 29 11 2010

Outras

Portaria IBAMA nº 147, de 17 de novembro de 1997. Regula a permissão de exploração dos campos naturais de algas por pessoas físicas ou jurídicas. Revogada pela Instrução Normativa IBAMA nº 46/2004.

Instrução Normativa Ministério da Agricultura Nº 5, de 23 de fevereiro de 2000. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura, conforme anexos a esta Instrução Normativa.

Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17655>. Acesso em 29 11 2010

Portaria DPC nº 109, de 16 de dezembro de 2003. Aprova a Norma da Autoridade Marítima 11 da Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil (NORMAM-11/DPC).

Disponível em: http://www.dpc.mar.mil.br/portarias/port_03.htm. Acesso em 29 11 2010

Norma da Autoridade Marítima 11 da Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil (NORMAM-11/DPC) de 2003. Normas da Autoridade Marítima para Obras, Dragagens, Pesquisa e Lavra de Minerais sob, sobre e às Margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras.

Disponível em: https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N_11/N_11.htm. Acesso em 29 11 2010

Instrução Normativa IBAMA nº 46, de 13 de agosto de 2004. Regula a exploração, a exploração, a comercialização e o transporte de algas marinhas no litoral brasileiro.

Disponível em: http://www.ibama.gov.br/cepsul/legislacao.php?id_arq=248. Acesso em 29 11 2010

Portaria DNPM nº 392/2004, de 21 de dezembro de 2004. Revê e atualiza os limites máximos de áreas e prazos para pesquisa mineral.

Disponível em: <http://www.dnrm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=284>. Acesso em 29 11 2010

Portaria DNPM nº 441/2009, de 11 de dezembro de 2009. Dispõe sobre os trabalhos de movimentação de terras e de desmonte de materiais in natura necessários à abertura de vias de transporte, obras gerais de terraplenagem e de edificações de que trata o § 1º do art. 3º do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967.

Disponível em: <http://www.dnrm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=589>. Acesso em 29 11 2010.