

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DA MINERAÇÃO

SUPERINTENDÊNCIA DO CEARÁ

PROGRAMA AVALIAÇÃO DE DISTRITOS MINEIROS



**A INDÚSTRIA DE AGREGADOS
PARA
CONSTRUÇÃO CIVIL
NA
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA**

**A INDÚSTRIA DE AGREGADOS
PARA
CONSTRUÇÃO CIVIL
NA
REGIÃO METROPOLITANA
DE
FORTALEZA**



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
Diretor-Geral
SÉRGIO AUGUSTO DÂMASO DE SOUZA

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DA MINERAÇÃO
Diretor
PAULO GUILHERME TANUS GALVÃO

COORDENAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DA MINERAÇÃO
Coordenador
KIOMAR OGUNIO

DIVISÃO DE GEOLOGIA E DISTRITOS MINEIROS
Chefe
DAVID SIQUEIRA FONSECA

SUPERINTENDÊNCIA DO CEARÁ
Superintendente
FERNANDO ANTONIO DA COSTA ROBERTO

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

**A INDÚSTRIA DE AGREGADOS
PARA
CONSTRUÇÃO CIVIL
NA
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA**

**Vanessa Maria Mamede Cavalcanti
Ricardo Eudes Ribeiro Parahyba**

ENDERECO:

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM

SAN Quadra 01 Bloco B - 70041-903 - Brasília - DF

www.dnpm.gov.br

Superintendência do Ceará

Rua Dr. José Lourenço, 905 – Meireles - 60.115-280 - Fortaleza - CE

Tiragem: 600 exemplares

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C387i

Cavalcanti, Vanessa Maria Mamede.

A indústria de agregados para construção civil na Região Metropolitana de Fortaleza / Vanessa Maria Mamede Cavalcanti, Ricardo Eudes Ribeiro Parahyba.
--Fortaleza: DNPM, 2011.

110p.:il.

Inclui bibliografia.

ISBN

1. Indústria de Agregados – Fortaleza (CE) 2. Areia e Brita 3. Recursos Minerais – Fortaleza (CE). 4. Indústria Mineral 5. Construção Civil – Fortaleza (CE) I. Parahyba, Ricardo Eudes Ribeiro II. Título

CDD 622.18098131

APRESENTAÇÃO

Em 1998 o DNPM lançou, em continuidade ao estudo de regiões metropolitanas do Brasil, o Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza – PDM/RMF, trabalho que trouxe, de imediato, uma série de contribuições ao setor público e ao setor produtivo da mineração e, ainda, importantes proposições para o desenvolvimento ordenado da atividade na região.

Ao reler o texto do PDM/RMF, fica claro que ao longo dos últimos anos a unidade do DNPM no Ceará, hoje Superintendência, perseguiu com obstinação aquelas proposições e, é certo que, nítida é a diferença no comportamento da mineração na região, que se apresenta num patamar bastante mais favorável do que então.

Naturalmente que ainda permaneceram pontos a se resolver e essa é a grande importância do estudo **“A Indústria de Agregados para a Construção Civil na Região Metropolitana de Fortaleza”**. O trabalho, que lança mão de todo o conhecimento adquirido anteriormente, traz uma série de novas informações sobre a produção de agregados, fornecendo ao gestor público o balizamento ideal para a tomada de decisões consistentes.

SÉRGIO AUGUSTO DÂMASO DE SOUZA
Diretor-Geral do DNPM

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – BRITA	4
2.1 – LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE EXTRAÇÃO	4
2.2 – RECURSOS E RESERVAS	6
2.3 – UTILIZAÇÃO	6
2.3.1 – Uso em concreto	8
2.3.2 – Pavimentos de estradas	8
2.3.3 – Lastro de ferrovias.....	8
2.3.4 – Enrocamento	8
2.3.5 – Uso em filtros	9
2.3.6 – Pedra de cantaria	9
2.4 - CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO	9
2.4.1 – Produtos e coprodutos.....	9
2.4.2 – Especificações e normatização.....	11
2.4.2.1 – Apreciação petrográfica dos agregados	12
2.4.2.2 - Granulometria.....	14
2.4.2.3 - Massa específica real e aparente.....	18
2.4.2.4 – Qualidade da brita usada como agregado graúdo	19
2.4.2.4.1 – Resistência aos esforços mecânicos.....	19
2.4.2.4.2 – Substâncias nocivas.....	19
2.4.2.4.3 – Forma dos grãos	20
2.5 – PROCESSOS PRODUTIVOS	20
2.5.1 – Lavra	21
2.5.1.1 – Caracterização da Lavra.....	21
2.5.1.2 – Desmonte Primário	30
2.5.1.3 – Desmonte Secundário	33
2.5.1.4 – Carregamento e transporte.....	34
2.5.2 - Beneficiamento	36
2.5.3 – Estocagem e embarque.....	40
2.5.4 – Controle ambiental.....	41
3 – AREIA	45

3.1 – GENERALIDADES.....	45
3.2 – LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE EXTRAÇÃO.....	45
3.2.1 – Areia Grossa	45
3.2.2 – Areia Fina.....	47
3.3 - RECURSOS E RESERVAS	49
3.4 – UTILIZAÇÃO	49
3.5 - CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO	50
3.5.1 – Areia Grossa	51
3.5.1.1 – Granulometria	51
3.5.1.2 - Massa específica real e aparente.....	53
3.5.1.3 – Substâncias nocivas.....	54
3.5.1.4 – Durabilidade	55
3.5.2 – Areia Fina.....	56
3.5.2.1 – Granulometria	56
3.5.2.2 – Substâncias nocivas.....	58
3.6 – PROCESSOS PRODUTIVOS	60
3.6.1 – Lavra	61
3.6.1.1 – Dragagem	61
3.6.1.2 – Desmonte mecânico.....	63
3.6.2 – Beneficiamento	66
3.6.3 - Controle ambiental	67
3.6.3.1 – Extração em leitos ativos.....	67
3.6.3.2– Extração em planícies de inundação	68
3.6.3.3– Extração de sedimentos terciários associados aos tabuleiros pré-litorâneos	69
4 - ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	73
4.1 – ARGILAS EXPANDIDAS	73
4.2 – ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS	73
4.3 – RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	74
4.4 – AREIA DE BRITAGEM	75
4.5 – AGREGADO MARINHO.....	77
5 – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR PRODUTOR.....	80
5.1 - AREIA	81
5.2 - BRITA	84
5.2.1 – Estrutura Empresarial.....	84

5.2.2 – Recursos Humanos	85
5.2.3 – Evolução da Produção/Consumo	85
5.2.4 – As Unidades de Produção de Brita	86
5.2.4.1 – Distribuição espacial das Unidades de Produção.....	86
6 – ASPECTOS INSTITUCIONAIS	91
6.1 - NORMATIZAÇÃO	91
6.1.1 – A extração mineral não autorizada	93
6.1.2 - Áreas abrangidas pelos empreendimentos	93
6.1.3 – Prazos dos empreendimentos.....	93
6.1.4 - Emolumentos, taxas e multas	94
6.1.5 – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais - CFEM	94
6.1.6 – Participação do proprietário do solo.....	94
6.2 – MEIO AMBIENTE.....	95
6.2.1 – Licenciamento Ambiental.....	95
6.2.2.- Regime de Autorização e Concessão	95
6.2.3.- Regime de Licenciamento e Registro de Extração	96
6.2.4 – Áreas de Preservação Permanente - APP.....	96
6.2.6. Resolução CONAMA N° 428/2010.....	100
6.3 – TERRAS INDÍGENAS	101
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	104
7.1 - CONCLUSÕES.....	104
7.2 – RECOMENDAÇÕES.....	104
8. REFERÊNCIAS	106
8.1 - BIBLIOGRÁFICAS	106
8.2 – TEXTOS LEGAIS	107

1 – INTRODUÇÃO

Os agregados são materiais granulados, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia civil (Paraguassu, 1996). São classificados quanto à sua origem, à dimensão dos grãos e à massa específica.

Em relação à origem, podem ser classificados como naturais e artificiais. Os naturais ocorrem na natureza, praticamente prontos para utilização, necessitando, no máximo, de um rápido processamento de lavagem e classificação, como as areias, grânulos e cascalhos provenientes de depósitos sedimentares. Os artificiais são os que necessitam de beneficiamento, ou seja, brita, areia artificial, etc. O termo artificial refere-se ao modo de obtenção e não ao material propriamente dito. No entanto, existem autores que classificam como artificiais aqueles agregados que são obtidos por processos industriais como escória de alto forno, argila expandida, etc.

Quanto à dimensão, os agregados são classificados em miúdos e graúdos. Também podem receber denominações especiais como *filler*, areia, pedrisco, seixo rolado, pedregulho, cascalho, brita e pedra britada. O agregado miúdo é definido como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248. O agregado graúdo é definido como pedregulho ou brita, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248. *Filler* ou pó mineral é o material granular que passa na peneira ABNT nº 200 (0,075 mm). Areia é o agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais, sendo denominada de areia natural aquela resultante da ação de agentes da natureza e de areia artificial, quando é proveniente de britagem ou outros processos industriais. Pedregulho, cascalho ou seixo rolado é o agregado graúdo que pode ser utilizado na fabricação do concreto sem sofrer qualquer tratamento que não seja lavagem e seleção. Brita ou pedra britada é o agregado graúdo originado através do quebramento artificial da rocha.

Quanto à massa específica (γ_a), os agregados podem ser classificados em mg.m^{-3} , como: leves ($\gamma_a < 2,0$) - pedra-pomes, vermiculita, argila expandida e outros; normais ($2,2 < \gamma_a < 3,2$) - areias, pedregulhos e pedras britadas; e pesados ($\gamma_a > 3,2$) - barita, magnesita, limonita e outros. Aqui, só serão abordados os agregados classificados como normais.

A Região Metropolitana de Fortaleza – RMF foi criada pela Lei Complementar Federal nº 14, de 08/06/1973, que instituiu, também, outras regiões metropolitanas no país. Formada inicialmente por apenas cinco municípios (Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Pacatuba e Aquiraz), a RMF foi ampliada várias vezes ao longo dos anos, possuindo, atualmente, 15 municípios. São eles, além dos cinco iniciais: Maracanaú, Eusébio, Guaiúba, Itaitinga, Chorozinho, Pacajus, Horizonte, São Gonçalo do Amarante, Pindoretama e Cascavel (Figura 1.1).

Com uma população de 3.610.379 habitantes, a RMF é a sexta região metropolitana do Brasil e está entre as 100 maiores áreas metropolitanas do mundo em termos de população. Possui área equivalente a 3,90% da área do estado do Ceará, 43,27 % da população e 51,41% do PIB do estado (Tabela 1.1).



Figura 1.1 – Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza. Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará –IPECE (2009).

A produção de agregados na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF se destina a atender à implantação e manutenção de obras de infraestrutura, bem como às necessidades básicas da população como habitações, sistema viário, reservatório de água (para consumo humano e para geração de energia elétrica), esgotamento sanitário e outros. A produção de agregados possui características típicas, como geração de grandes volumes produzidos, beneficiamento simples, baixo preço unitário e necessidade de proximidade das fontes de produção com o local de consumo, devido ao alto custo relativo do transporte.

O mercado produtor de agregados de emprego na construção civil (brita e areia) é a principal atividade de mineração da RMF. A indústria da brita é formada por pequenas e médias mineradoras, enquanto a de areia para construção civil tem uma predominância de empresas de micro e pequeno porte.

A relevância do setor de areia e brita para a construção de uma sociedade é um fato, apresentando-se como um dos mais importantes indicadores de qualidade de vida atuais. Os Países da Comunidade Europeia, Japão e Estados Unidos têm um consumo per capita igual ou seis vezes superior ao do Brasil.

MUNICÍPIO	ÁREA (km ²) ¹	POPULAÇÃO ²	IDH ³	PIB (R\$) ⁴	PIB per capita (R\$) ⁴
Fortaleza	313,14	2.505.552	0,786	28.350.622.000,00	11.461,22
Maracanaú	105,696	201.693	0,736	3.121.055.000,00	15.620,27
Caucaia	1.227,90	334.364	0,721	1.952.311.000,00	5.973,82
Eusébio	76,583	41.307	0,684	938.076.000,00	23.204,78
Horizonte	159,972	54.362	0,679	837.005.000,00	15.946,59
Maranguape	590,824	110.523	0,736	645.435.000,00	5.947,34
S.Gonçalo do Amarante	834,394	42.962	0,639	610.967.000,00	14.439,92
Aquiraz	480,976	71.400	0,670	496.794.000,00	7.052,83
Pacatuba	132,427	71.839	0,542	456.327.000,00	6.517,29
Pacajus	254,435	59.689	0,678	414.878.000,00	7.118,57
Cascavel	837,967	67.956	0,673	370.996.000,00	5.537,09
Itaitinga	150,788	32.678	0,680	134.578.000,00	4.155,96
Chorozinho	278,4	18.759	0,633	71.220.000,00	3.794,36
Pindoretama	72,855	18.322	0,657	57.876.000,00	3.211,43
Guaiúba	267,203	23.853	0,652	73.580.000,00	3.130,79
RMF	5.783,56	3.655.259	0,767	38.531.720.000,00	10.860,70
CEARÁ	148.825,60	8.448.055	0,723	74.950.000.000,00	8.870,00

Tabela 1.1 – A Região Metropolitana de Fortaleza, dados demográficos e econômicos dos municípios e do Estado do Ceará. 1-IBGE (2002); 2-IBGE (2010a); 3-PNUD (2000); 4-IBGE (2010b).

2 – BRITA

2.1 – LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE EXTRAÇÃO

As rochas graníticas e vulcânicas alcalinas são utilizadas para produção de brita na RMF nas diferentes especificações comerciais para concretos, lastros e calçamentos, bases e revestimentos, inclusive asfálticos.

As áreas com extração de matéria-prima para utilização como pedra britada estão localizadas nos municípios de Itaitinga, Caucaia, Pacatuba, Maracanaú, Maranguape e Eusébio. Com exceção de uma área localizada no município de Eusébio, que produz brita a partir de fonólito, todas as demais utilizam como matéria-prima as rochas graníticas (Tabela 2.1 e figura 2.1).

No município de Itaitinga está localizado um importante pólo produtor de brita da RMF, encravado no serrote de mesmo nome, nos limites urbanos da sede do município. Ao longo dos anos, políticas inadequadas de uso e ocupação do solo provocaram o “sufocamento” das unidades produtoras de brita pelo avanço desordenado da urbanização. É importante frisar que a produção de pedra britada constitui-se na principal atividade econômica do município, que se desenvolveu e foi criado, basicamente, em função e em torno da indústria de brita.

Regiões /Áreas	Nº de unidades	Designação da Unidade
Município de Caucaia	3	TECBRITA BRITAP PYLA
Município de Eusébio Serrote do Cararu	1	OCS
Município de Itaitinga Serra da Itaitinga	6	Estrela Britagem PEDRALEZA Pedreira de Itaitinga CEBRITA Pedreira Natacha BRITANE
Município de Maracanaú	1	NORDBRITA
Município de Pacatuba Serra da Monguba	1	BRITACET
Total	12	

Tabela 2.1 – Distribuição regional das unidades produtoras de brita em atividade na RMF.

Na serra da Monguba, município de Pacatuba, as áreas de lavra e uma unidade de britagem estão localizadas nas proximidades de núcleos urbanos.

No município de Eusébio está localizada a única unidade de produção de brita em rocha alcalina da RMF, em área próxima à praia do Porto das Dunas, em local considerado, atualmente, de grande interesse turístico e imobiliário. A crescente urbanização da região está fazendo com que a atividade de extração e beneficiamento para produção de brita conviva com exigências, cada vez maiores, do poder público decorrente dos impactos ambientais da atividade.

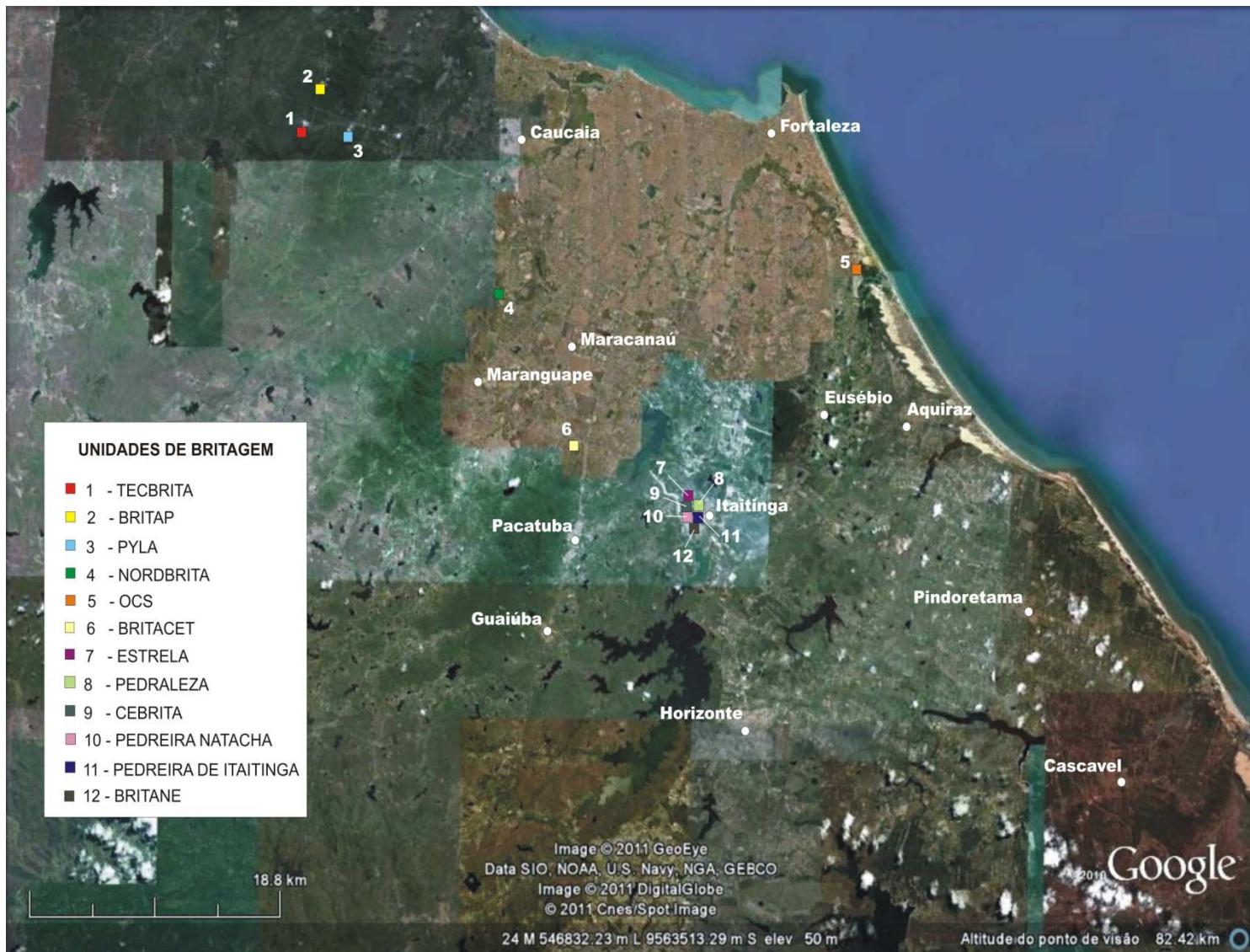


Figura 2.1 - Imagem de satélite com a localização das áreas produtoras de brita em atividade na RMF. Imagem: Google Earth.

As demais áreas com produção de pedra britada, situadas nos municípios de Caucaia, Maracanaú e Maranguape localizam-se afastadas tanto dos centros urbanos quanto de locais de interesse para o turismo e lazer.

2.2 – RECURSOS E RESERVAS

As principais áreas com extração de matéria-prima para utilização como pedra britada estão representadas pelas serras do Camará, da Conceição, do Juá e o Serrote das Cajazeiras, em Caucaia, e as serras de Maranguape, Monguba e Itaitinga, situadas nos municípios de Maranguape, Maracanaú, Pacatuba e Itaitinga.

O mapa geológico da RMF e entorno está representado na figura 2.2, tendo sido caracterizados como áreas potenciais para pedra britada, os tipos litológicos discriminadas a seguir:

- Granitóides NPγ e NPγ do Neo Proterozóico, que ocorrem nas serras da Itaitinga, do Camará, da Conceição, do Juá, do Bico Fino, do Pocim, Boqueirão, Gigante e outros serrotes isolados;
- Paragnasses e granitóides do Paleo Proterozóico, representados pelas serras de Maranguape, Aratanha e Monguba; e
- Rochas Vulcânicas Alcalinas do Terciário, representadas por nove serrotes distribuídos nos municípios de Caucaia, Itaitinga e Eusébio.

As reservas medidas da RMF para rochas graníticas e alcalinas utilizadas na produção de pedra britada são da ordem de 141.639.801 toneladas, distribuídas conforme a tabela 2.2.

Município	Unidade litológica	Número de áreas	Reserva medida (t)
Itaitinga	Granitóides NPγ e NPγ	8	54.839.776
Caucaia	Granitóides NPγ e NPγ	4	31.735.492
Maranguape	Paragnasses e granitóides	1	21.350.400
Pacatuba	Paragnasses e granitóides	3	19.228.756
Eusébio	Vulcânicas alcalinas	1	3.467.525
Maracanaú	Paragnasses e granitóides	2	11.017.853
TOTAL		19	141.639.801

Tabela 2.2 – Reservas medidas para rochas graníticas e alcalinas utilizadas na produção de pedra britada na RMF – Ano Base 2009. Fonte: Anuário Mineral Brasileiro (DNPM).

2.3 – UTILIZAÇÃO

A brita é amplamente utilizada na construção civil com aplicações na fabricação de concreto, pavimentação de rodovias, lastros de ferrovias, revestimento de leito de estradas de terra, barramentos, enrocamentos, filtros e outras destinações.

A tecnologia do concreto sofreu avanço bem significativo nos últimos anos, tendo a caracterização de seus constituintes (agregados, aditivos e ligantes) exercido um papel fundamental nos parâmetros de controle e qualidade, fazendo com que o antigo conceito de que os agregados eram apenas materiais de preenchimento e não exerciam influência considerável na mistura, fosse definitivamente abandonado. Hoje, é consenso que a caracterização tecnológica dos agregados pode ser a diferença entre um concreto durável ou não (Mendes & Blasques Júnior, 2002).

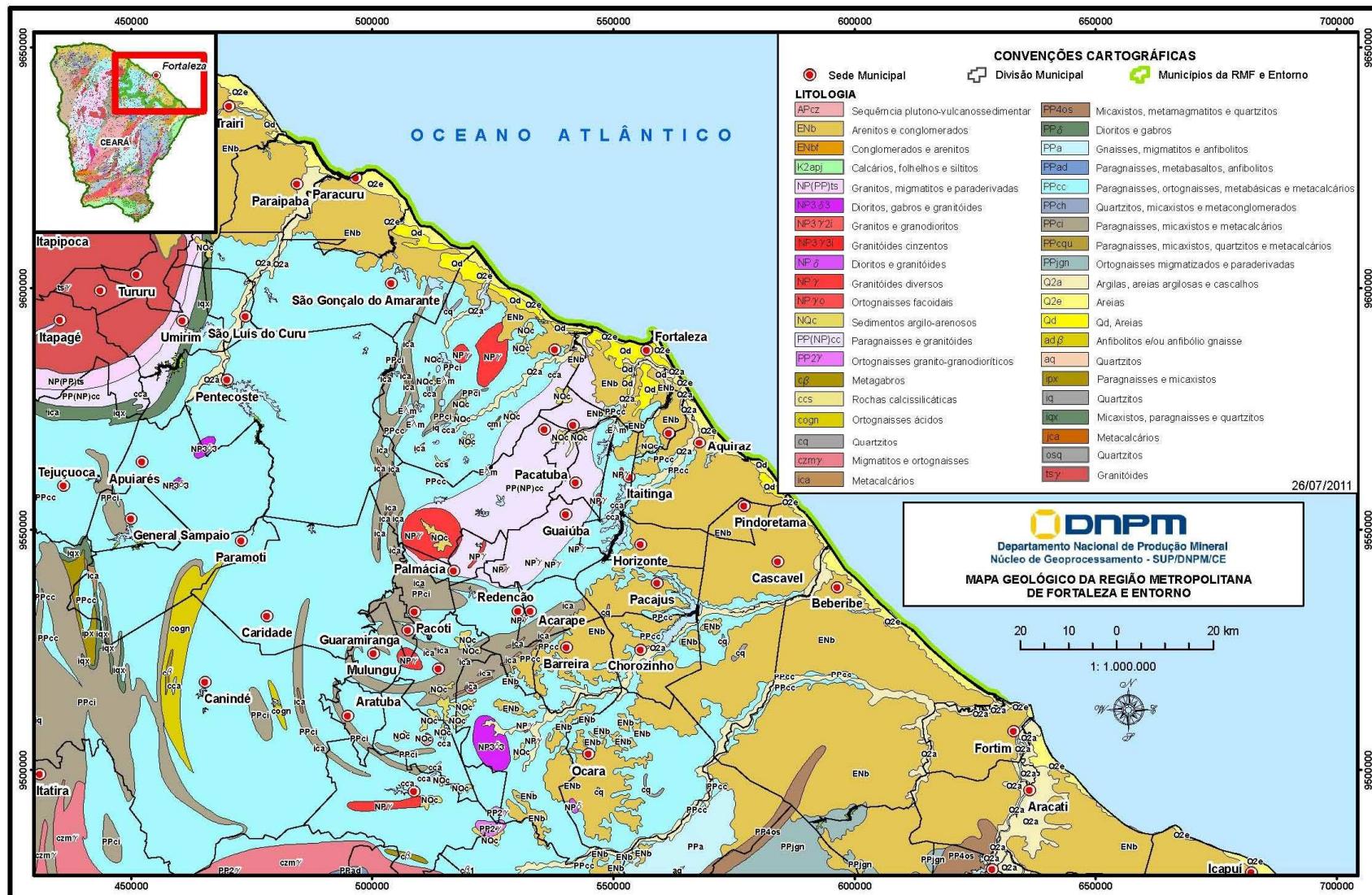


Figura 2.1 – Mapa geológico da Região Metropolitana de Fortaleza e entorno. Modificado de CPRM (2003)

2.3.1 – Uso em concreto

O concreto é formado pela mistura devidamente proporcionada de um aglomerante (cimento), agregados (miúdo e graúdo) e água. Os agregados constituem o maior volume do concreto chegando a participar com até 85 % do peso.

As principais funções da brita no concreto são: contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação de intempéries; reduzir as variações de volume de qualquer natureza e contribuir para a redução do custo do concreto.

As solicitações a que a rocha usada para a produção de brita fica submetida são: atrito e impacto durante a preparação do concreto; compressão e tração solidariamente à estrutura do concreto; possível reação com álcalis do cimento; expansão e contração térmica provocados por ação do intemperismo; ação química da água da chuva e das águas agressivas.

As propriedades exigidas da rocha usada para a produção de brita são: resistência à compressão simples; resistência à tração; resistência ao desgaste; não reatividade; resistência ao intemperismo e trabalhabilidade.

2.3.2 – Pavimentos de estradas

Nos pavimentos das estradas, a brita é usada na base, no macadame hidráulico, no revestimento betuminoso e no revestimento de concreto de cimento.

As funções da brita no pavimento são: suportar e distribuir a carga do tráfego, transferindo-a às camadas inferiores; proteger o subleito da ação do intemperismo, principalmente da ação mecânica da água.

A rocha com a qual se produziu a brita deve ter resistência à compressão, ao impacto, ao desgaste e ao intemperismo.

2.3.3 – Lastro de ferrovias

Nos lastros de vias férreas, a brita é usada em tamanhos progressivos de baixo para cima, sobre o solo.

As funções dos lastros são: suportar os dormentes, resistindo aos movimentos horizontais devido à ação do tráfego e às mudanças de temperatura nos trilhos; distribuir as cargas, reduzindo a intensidade da pressão sobre o leito da ferrovia; constituir um meio de drenagem da água sob os dormentes; constituir um meio próprio para o aplainamento da pista; permitir que os trilhos se movam verticalmente sob as cargas repentinas aplicadas; reduzir os efeitos destrutivos do impacto e retardar ou evitar o crescimento de vegetação.

As solicitações a que a rocha usada como lastro fica submetida são: compressão; impacto; atrito e ação das intempéries como umedecimento e secagem, além de variação da temperatura.

2.3.4 – Enrocamento

Os enrocamentos são estruturas constituídas de pedras de mão arrumadas, matações ou por pedras jogadas, sem emprego de aglomerante, que podem ser utilizados na construção de contenções, diques e dissipadores de energia, recuperação de erosão e proteção de taludes e de obras de arte especiais.

As solicitações a que a rocha usada fica submetida são: forças mecânicas de elevada compressão devido a cargas pontuais, forças de descompressão de tensões pontuais, atrito; ação da intempérie acima da zona de saturação por umedecimento e secagem, variação da temperatura e ação de sais em obras marinhas.

As propriedades exigidas da rocha são: resistência à compressão, à tração, ao desgaste e ao intemperismo.

2.3.5 – Uso em filtros

O filtro tem a função de permitir a passagem da água e impedir a passagem de partículas finas do solo. A pedra britada é usada nos denominados filtros "sandwich", ou seja, uma sequência formada de areia, pedrisco, brita, pedrisco, areia. Pelas suas funções, o filtro normalmente está na parte interna de uma obra e, portanto encontra-se mais protegido do intemperismo.

As solicitações a que a rocha usada fica submetida são: o atrito, a abrasão e o impacto, na fase de execução, e a compressão, conforme a sua posição num enrocamento ou aterro maior, além de possíveis reações químicas. As propriedades exigidas da rocha são: resistência à compressão (dependendo da posição do filtro), resistência à abrasão (de pouca importância) e insolubilidade.

2.3.6 – Pedra de cantaria

Pedra de cantaria é a pedra que, após ter sido afeiçoada manualmente, com o uso de ferramentas adequadas, apresenta-se pronta para ser utilizada em construções e equipamentos. Atua ora como elemento estrutural, ora como ornamentação e, muitas vezes, atende às duas funções, ou seja, fazer parte da estrutura da obra e embelezar.

É utilizada em meio-fio, pórticos, parapeitos de janelas, balcões, paredes, muros, blocos esculpidos e outros.

2.4 - CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

2.4.1 – Produtos e coprodutos

A indústria da construção civil utiliza a rocha como agregado para diversas finalidades, como componente de elementos estruturais, variando suas características de acordo com as diferentes especificações comerciais requeridas para concretos hidráulicos, lastros e calçamentos, bases e pavimentos, inclusive asfálticos e enrocamento.

O produto final, ou seja, o agregado obtido pelo processo de cominuição (fragmentação) enquadra-se em diversas categorias, de acordo com os diferentes tamanhos, quando da comercialização:

- Brita: denominação utilizada para designar materiais graduados com dimensões entre 4,8 e 75 mm, ou qualquer dimensão ou faixa dentro destes limites (Tabela 2.3).
- fíler (filler): material resultante da britagem com graduação entre 0,005 e 0,075 mm, cujos grãos são da mesma ordem de grandeza dos do cimento e passam na peneira 200 (0,075 mm), sendo utilizado na preparação de concretos, para preencher vazios, na adição a cimentos, na preparação da argamassa betuminosa e como espessante de asfaltos fluidos.

NBR 7211:2009 Zona granulométrica (d/D)*	NBR 7211:1983** Graduação	DIÂMETRO MÁXIMO (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO (POLEGADA)	DENOMINAÇÃO COMERCIAL (RMF)	UTILIZAÇÃO
		4,8	5/32"	Pó de Pedra	Vigas, Pré-moldados, peças de concreto e concreto bombeado
	Zero	9,5	3/8"	Cascalho ou Brita Zero (3/8") ou Brita 00	Vigas, Pré-moldados, peças de concreto e concreto bombeado
4,75 / 12,5		12,5	½"	Pedrisco	Vigas, Pré-moldados, peças de concreto e concreto bombeado
		16	5/8"	Brita Zero (16mm)	Pilares, vigas, Pré-moldados, peças de concreto e concreto bombeado
	1	19	¾"	Brita Zero	Pilares, vigas, Pré-moldados, peças de concreto e concreto bombeado
9,5 / 25	2	25	1"	Brita 1 pequena	Pisos, pilares, vigas, peças de concreto e concreto bombeado
19 / 31,5		32	1 ¼"	Brita 1 grande	Pisos, pilares, vigas, grandes peças de concreto e sumidouros
	3	38	1 ½"	Brita 2 pequena	Pisos, pilares, grandes peças de concreto e sumidouros
25 / 50		50	2"	Brita 2 grande	Pisos, pilares, grandes peças de concreto e sumidouros
		Todas as granulometrias		Brita corrida	Asfalto e base pavimento

* Zona granulométrica correspondente a menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

** A NBR 7211:1983 foi substituída pela NBR 7211:2009.

Tabela 2.3 – Tipos de brita produzidos na Região Metropolitana de Fortaleza.

- Areia de brita ou areia artificial: agregado, com graduação entre 0,15 e 4,8 mm, obtido dos finos resultantes da produção de brita, dos quais se retira, por via úmida, a fração inferior a 0,15mm.
- Rachão: material que passa no britador primário e é retido na peneira de 76 mm. A NBR 9935 define rachão como “pedra de mão”, de dimensões entre 76 e 250 mm.
- Restolho: material granular, de grãos em geral friáveis (que se parte com facilidade), que pode conter uma parcela de solo.
- Pedra de mão ou pedra marroada: material com granulometria variável, com tamanho de 10 a 40 cm de comprimento, peso médio de 10 kg por exemplar, usado para calçamento, gabiões de contenção, muro de construção, drenagens, marcadames, enrocamento e concreto ciclópico.

As pedreiras podem apresentar como subproduto a areia de brita e como coprodutos, a pedra de enrocamento, pedra de alvenaria e pedra de cantaria (meio-fio e paralelepípedos).

A construção civil é exigente com relação às características da brita tanto com relação à dureza e rigidez quanto à dimensão e presença de impurezas, pois as peças a serem fabricadas, normalmente, requerem rigorosas especificações de seus componentes pétreos ou não. Com relação aos materiais utilizados como pedra de alvenaria e pedra de cantaria, somente as dimensões são exigidas, não existindo restrições quanto à presença de impurezas.

Na RMF, em algumas áreas regularizadas por registro de licença o produto principal é a pedra de cantaria e de alvenaria.

2.4.2 – Especificações e normatização

A correta utilização das rochas e demais materiais pétreos na construção civil requer o conhecimento prévio de suas propriedades para qualificação do material rochoso. As rochas e agregados em geral devem passar por uma caracterização tecnológica antes de serem utilizados na construção, que deve, contudo, ser executada por procedimentos padronizados. A padronização desses procedimentos que regulam a qualidade da brita está definida nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e também de outras instituições.

A qualificação dos agregados e as especificações para usos em concreto, pavimentos e lastro de ferrovias devem atender as normas contidas na tabela 2.4.

Para verificar se a pedra britada utilizada na RMF atende as normas da ABNT adotadas para qualificação do agregado graúdo, foram realizados os seguintes ensaios, com base no exigido na NBR 7211 (agregados para concreto – especificação): Determinação da composição granulométrica (NBR NM 248); Determinação da massa unitária e do volume de vazios (NBR NM 45); Análise petrográfica de agregado para concreto Parte 2 – Agregado graúdo (NBR 7389 - 2); Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (NBR 7218); Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água (NBR NM 53); Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro (NBR-7809) e Ensaio de abrasão *Los Angeles* (NBR NM 51). A utilização da NBR 7211 decorre do principal uso desse bem mineral na RMF ser como agregado graúdo na produção de concreto.

A amostragem foi realizada, com base na NBR NM 26 (Agregados - Amostragem), em oito pedreiras em produção na RMF, assim distribuídas: 3 (três) pedreiras localizadas na serra da Itaitinga, município de Itaitinga; 1 (uma) na serra da Monguba, município de Pacatuba; 3 (três) localizadas no município de Caucaia e 1 (uma) no município de Eusébio.

PROPRIEDADES	USOS		
	Concreto hidráulico	Pavimento betuminoso	Lastro ferroviário
Abrasão	NBR NM 51	NBR NM 51	NBR NM 51
Adesividade	np	NBR 12583 / 12584	np
Alterabilidade	NBR 12696 / 12697	ME 89	NBR 7702
Amostragem	NBR NM 26 / 27	NBR NM 26 / 27	NBR 11541
Argila em torrões e materiais friáveis	NBR 7218	np	NBR 7218
Compressão	NBR 7222	nn	NBR 6953
Esmagamento	NBR 9938	ME 42	nn
Especificações	NBR 7211	NBR 7174 / 11803 /11804 /11806 / 12559 /12564 / 12948	NBR 7914
Forma	NBR 7809	ME 86	NBR 6954
Granulometria	NBR NM 248	NBR NM 248	nn
Impurezas orgânicas	NBR NM 49	np	np
Massa específica, porosidade e absorção	NBR 6458 / 9937/ NM 30 / NM 52 / NM 53	NBR 6458	NBR 6458
Massa unitária	NBR NM 45	np	nn
Material fino (pulverulento)	NBR NM 46	np	NBR NM 46
Partículas leves	NBR 9936	np	np
Petrografia	NBR 7389	IE 06	nn
Reatividade	NBR 9771 / 15577	np	np
Sais solúveis	NBR 9917	np	np
Terminologia	NBR 9935 / NM 66	NBR 6502	nn
Umidade	NBR 9775 / 9939	NBR 9775 / 9939	nn

*NBR: Norma ABNT; NM: Norma Mercosul; ME e IE: Norma DNER; nn: não normatizado; np: não pertinente.

Tabela 2.4 – Principais normas brasileiras em vigor utilizadas na avaliação das propriedades dos agregados. Modificado de Frazão (2002 *apud* Campos *et al*, 2007).

2.4.2.1 – Apreciação petrográfica dos agregados

De acordo com a NBR 7389-2, as análises petrográficas de agregados visam à identificação das seguintes características: composição mineralógica (minerais essenciais, secundários, acessórios e suas quantidades); textura (forma e arranjo dos minerais); granulação predominante dos minerais principais; estrutura (arranjo macroscópico); estado e tipo de alteração dos minerais; grau de alteração da rocha; grau e tipo de microfissuração (intercristalina ou intracristalina, fissuras preenchidas ou abertas); natureza (ígnea, sedimentar ou metamórfica) e classificação petrográfica da rocha.

Algumas características petrográficas são muito importantes para caracterizar os materiais rochosos utilizados como agregados, sendo as principais:

- estado de alteração dos minerais, por influenciar na durabilidade e nas propriedades físicas e mecânicas;
- presença de minerais deletérios ou nocivos, por provocar reações com substâncias presentes no concreto;
- presença de minerais que interagem com propriedades de ligantes betuminosos, quando o agregado é usado em concretos betuminosos.

Durante os trabalhos do Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza (Brasil, 1998) foram realizadas análises petrográficas em amostras coletadas em nove pedreiras em produção na RMF. As análises seguiram as especificações contidas nas normas ABNT-NBR 7389 (Apreciação petrográfica de materiais naturais para utilização como agregado em concreto) e na ASTM C-294 (*Standard descriptive nomenclature for constituents of natural mineral aggregates*).

As pedreiras localizadas nos municípios de Itaitinga, Caucaia e Pacatuba utilizam rochas graníticas na produção de brita. As amostras da Serra da Itaitinga foram classificadas como monzogranito tectonizado, com seus constituintes mineralógicos apresentando processos de alteração (caulinização e carbonatação), além de efeitos tectônicos. Com relação às pedreiras localizadas em Caucaia, as amostras analisadas foram classificadas como biotita gnaisse e como biotita-granito *senso stricto* tectonizado e biotita-monzogranito tectonizado, apresentando evidentes processos de alteração como caulinização e carbonatação, e, principalmente, efeitos tectônicos. As amostras coletadas em Pacatuba foram classificadas como biotita gnaisse, apresentando processos evidentes de alteração (caulinização e carbonatação) e, principalmente, efeitos tectônicos.

De acordo com a NBR 15577, cristais de quartzo que sofreram esforços ou estão intensivamente fraturados, podem ser considerados deletérios, ou seja, reativos com os álcalis do cimento. Todas as amostras analisadas contêm quartzo em agregados de cristais intersticiais/xenomórficos, apresentando, com frequência, fraturamentos, ranhuras, estrias e efeitos tectônicos como extinção ondulante, bandas de deformação e processos de recristalização, geralmente com recuperação em subgrãos. Essas características são indicativas de material reativo com os álcalis do cimento, sendo recomendada a realização de ensaio de reatividade álcaldi-agregado, conforme a NBR 15577, visando à obtenção de dados sobre a ocorrência de reações prejudiciais oriundas de materiais reativamente deletérios e que apresentem intensidade suficiente para causar uma expansão da argamassa e/ou concreto.

Nas amostras de monzogranito da Serra da Itaitinga e de biotita-granito *senso stricto* e biotita-monzogranito coletadas em pedreiras localizadas no município de Caucaia, foram determinadas pequenas concentrações de óxidos de ferro e sulfetos. De acordo com as normas NBR 15577 e ASTM (C-294), formas reativas de sulfeto de ferro, especificamente certas formas de piritita, marcassita e pirrotita são consideradas minerais deletérios.

No município de Eusébio, no serrote do Cararu, está localizada a única pedreira que utiliza rocha vulcânica alcalina para produzir brita na RMF. Os resultados petrográficos revelaram tratar-se de nefelina fonólito, pouco alterado, com massas e manchas amarronzadas, pequenos acúmulos de material de aspecto pulváreo de cor branca, recobrindo cristais de feldspatos, denotando processos de caulinização. São observadas, ainda, amígdalas preenchidas com zeólitas e carbonatos, material vítreo-amorfo, produtos de alteração e micro-inclusões não identificadas.

De acordo com a norma C-294 (ASTM, 1982), a presença de zeólitas, particularmente heulandita, natrolita e laumontita, produz efeitos deletérios em concretos. Segundo a mesma norma, a amostra está inserida dentro do grupo dos felsitos, que quando possui texturas microcristalinas, material vítreo-amorfo e apresenta uma composição alcalina significativa, poderá provocar reação dos álcalis da rocha com o cimento. Entretanto, somente o ensaio de reatividade álcaldi-agregado poderá fornecer informação sobre a possibilidade de ocorrência de reações prejudiciais.

2.4.2.2 - Granulometria

Composição granulométrica, graduação ou granulometria de um agregado é a distribuição percentual dos seus diversos tamanhos de grãos, considerando a quantidade de material, em massa, retido nas peneiras da série normal (75; 37,5; 19; 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15 mm), determinados de acordo com a NBR NM 248. Além da curva de composição granulométrica são também definidos, no ensaio de granulometria, o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado.

O módulo de finura corresponde ao valor resultante da soma da porcentagem retida acumulada em massa de um agregado, nas peneiras da série normal citadas anteriormente, dividido por 100. Quando se traça a curva de composição granulométrica (porcentagem retida acumulada x malhas da peneira da série normal), o módulo de finura corresponde à área limitada pela curva e o eixo horizontal (integral da curva granulométrica). O módulo de finura quantifica se o agregado é mais grosso ou mais fino, sendo que quanto maior o módulo de finura mais grosso é o agregado.

A dimensão máxima característica (diâmetro máximo) é a grandeza associada à distribuição granulométrica, que corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, em que fica retida uma porcentagem de agregado igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

O agregado é chamado de graúdo quando pelo menos 95% de sua massa ficar retida na peneira de malha 4,75 mm, conforme definido na NBR-7211:2009. A tabela 2.3 apresenta a classificação dos agregados graúdos conforme apresentado na NBR-7211:1983 e NBR-7211:2009 que a substituiu, bem como a classificação comercial comumente utilizada pelas pedreiras na RMF.

Nas tabelas 2.5 e 2.6 são apresentados os resultados de ensaios de granulometria de amostras de agregado graúdo comercializados como brita 1 ou 19mm e brita 2 ou 25mm, em pedreiras da RMF, para as quais foram traçadas curvas granulométricas e calculados módulos de finura e dimensão máxima característica (Fig. 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8). As tabelas citadas mostram também os limites da composição granulométrica segundo a NBR 7211:2009. A distribuição granulométrica da maioria das amostras analisadas atende aos limites indicados para o agregado graúdo pela NBR 7211:2009.

A Tabela 2.7 apresenta os resultados dos cálculos do módulo de finura (MF) e da dimensão máxima característica (Dmax) dos ensaios granulométricos realizados em amostras de agregado graúdo produzido na RMF.

O conhecimento da composição granulométrica do agregado é de fundamental importância para o estabelecimento da dosagem dos concretos e argamassas, influindo na quantidade de água a ser adicionada, que se relaciona com a resistência e a trabalhabilidade do concreto, se constituindo em fator responsável pela obtenção de um concreto econômico. A granulometria ótima é a que, para a mesma resistência (mesmo fator água/cimento) e mesma consistência, corresponde ao menor consumo de cimento.

Peneira	Porcentagem, em massa, retida acumulada								
	NBR 7211:2009	Itaitinga 1	Itaitinga 2	Itaitinga 3	Caucaia 1	Caucaia 2	Caucaia 3	Eusébio	Pacatuba
	ZG 9,5/25*								
100 mm									
75 mm									
63 mm									
50 mm									
37,5 mm									
31,5 mm									
25 mm		0	0	0	0	0		0	0
19 mm	0-10	3	3	1	5	3	1	4	6
12,5 mm	40-50	45	37	9	74	66	38	53	48
9,5 mm	80-100	84	78	49	98	97	81	92	73
6,3 mm	92-100	97	93	74	100	100	97	97	87
4,75 mm	95-100	99	97	87			99	98	100
2,36 mm		100	100	100			100	100	
1,18 mm									
600 :m									
Módulo de Finura		6,83	6,76	6,36	6,99	6,97	6,8	6,94	6,35
Dmax (mm)		19	19	15,9	19	19	15,9	19	19

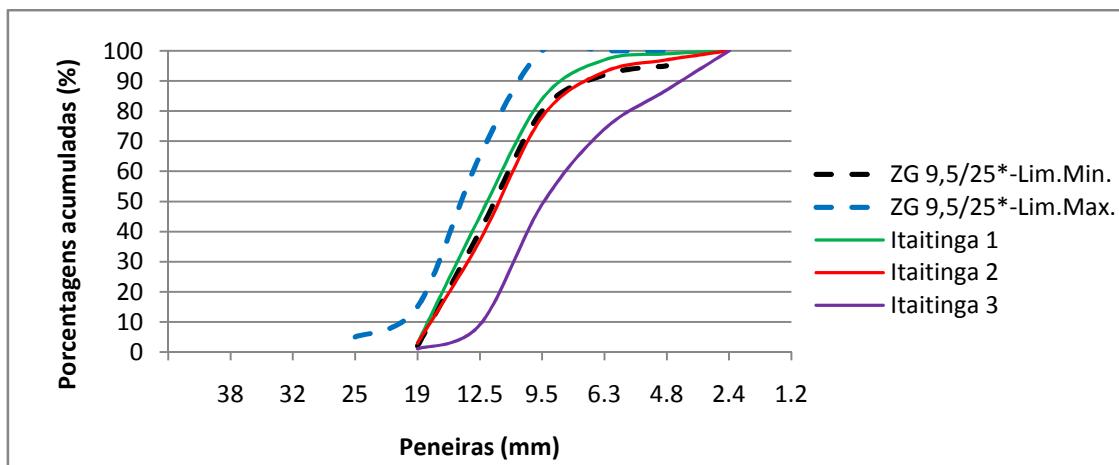
(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Tabela 2.5 – Resultados de ensaios de granulometria em amostras de brita 1 ou 19mm coletadas em pedreiras da RMF, comparados aos limites da Zona granulométrica 9,5/25 definida na NBR 7211:2009.

Peneira	Porcentagem, em massa, retida acumulada								
	NBR 7211:2009	Itaitinga 1	Itaitinga 2	Itaitinga 3	Caucaia 1	Caucaia 2	Caucaia 3	Eusébio	Pacatuba
	ZG 19/31,5*								
100 mm									
75 mm									
63 mm									
50 mm									
37,5 mm							0		
31,5 mm	0-5	0	0	0	0	0	1	0	0
25 mm	5-25	4	24	25	22	3	54	2	4
19 mm	65-95	68	86	72	71	42	96	36	51
12,5 mm	92-100	98	100	97	93	90	100	85	92
9,5 mm	95-100	100	100	100	98	96	100	99	99
6,3 mm					100	98		100	100
4,75 mm						100			
2,36 mm									
Módulo de Finura		7,68	7,70	7,72	7,69	7,37	7,96	7,35	7,5
Dmax (mm)		25	25	25	25	25	32	25	25

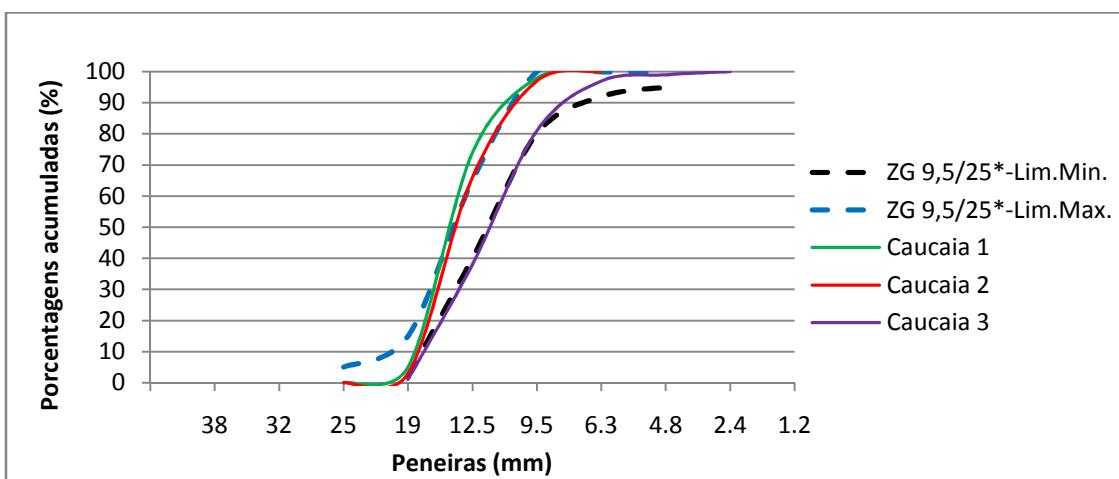
(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Tabela 2.6 – Resultados de ensaios de granulometria em amostras de brita 2 ou 25 mm coletadas em pedreiras da RMF, comparados aos limites da Zona granulométrica 19/31,5 definida na NBR 7211:2009.



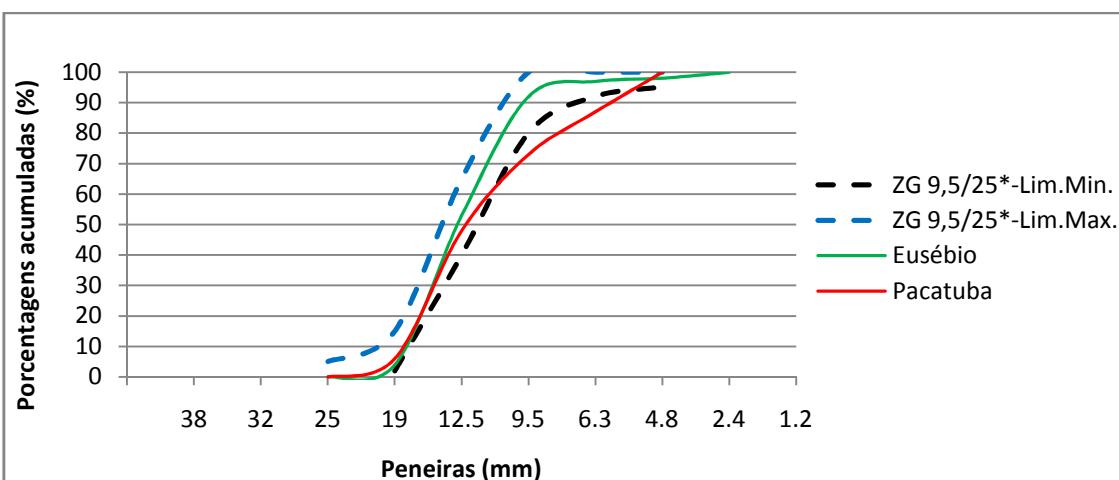
(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Figura 2.3 – Curvas granulométricas do agregado graúdo de amostras de brita 1 ou 19 mm, coletadas em pedreiras localizadas na serra da Itaitinga, incluindo os limites da NBR 7211:2009.



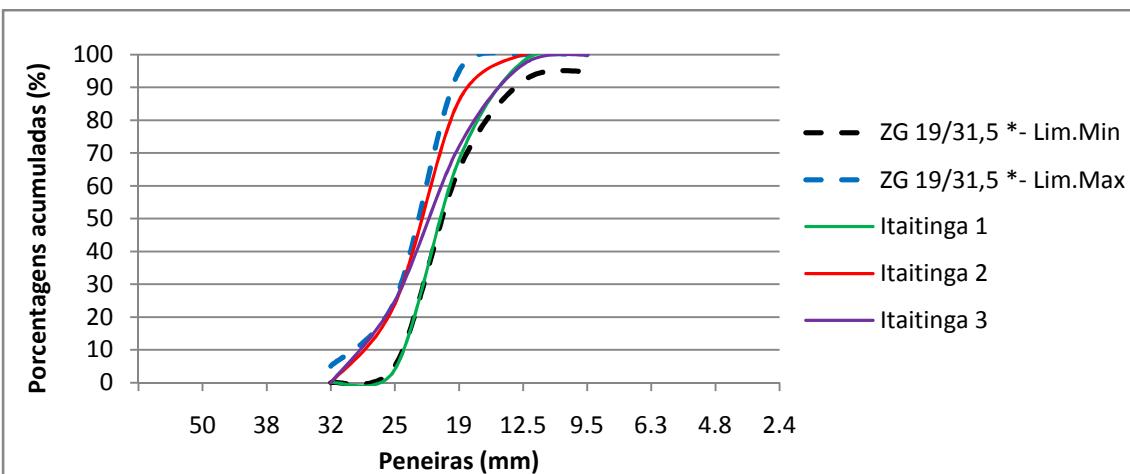
(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Figura 2.4 – Curvas granulométricas do agregado graúdo de amostras de brita 1 ou 19 mm, coletadas em pedreiras localizadas no município de Caucaia, incluindo os limites da NBR 7211:2009.



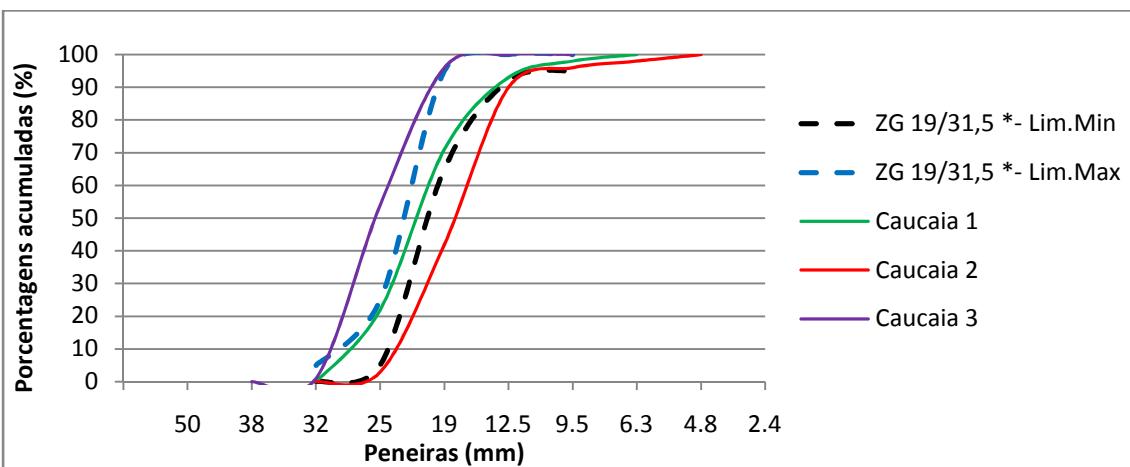
(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Figura 2.5 – Curvas granulométricas do agregado graúdo de amostras de brita 1 ou 19 mm, coletadas em pedreiras localizadas nos municípios de Eusébio e Pacatuba, incluindo os limites da NBR 7211:2009.



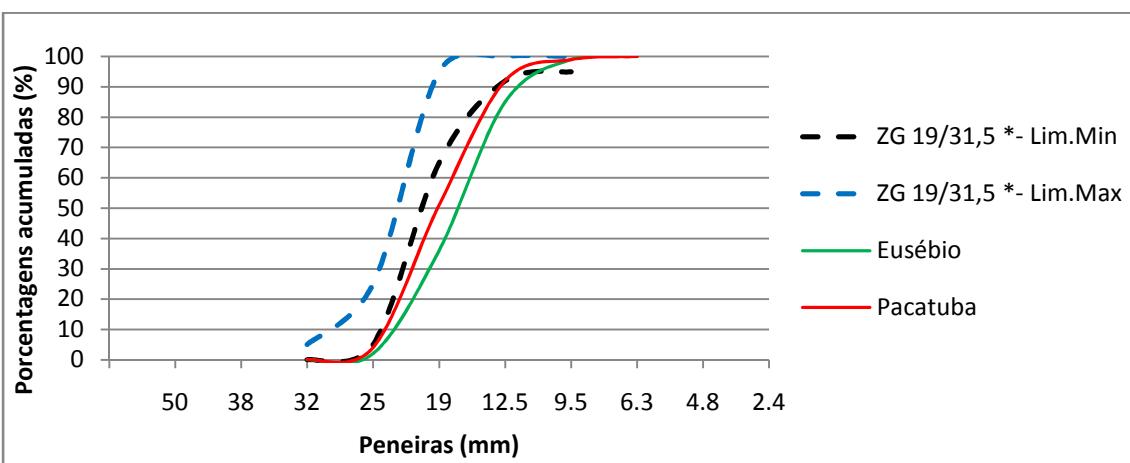
(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Figura 2.6 – Curvas granulométricas do agregado graúdo de amostras de brita 2 ou 25 mm, coletadas em pedreiras localizadas na serra da Itaitinga, incluindo os limites da NBR 7211:2009.



(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Figura 2.7 – Curvas granulométricas do agregado graúdo de amostras de brita 2 ou 25 mm, coletadas em pedreiras localizadas no município de Caucaia, incluindo os limites da NBR 7211:2009.



(*) Zona granulométrica d/D correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Figura 2.8 – Curvas granulométricas do agregado graúdo de amostras de brita 2 ou 25 mm, coletadas em pedreiras localizadas nos municípios de Eusébio e Pacatuba, incluindo os limites da NBR 7211:2009.

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA	MÓDULO DE FINURA (MF)							
	Itaitinga 1	Itaitinga 2	Itaitinga 3	Caucaia 1	Caucaia 2	Caucaia 3	Eusébio	Pacatuba
101 mm		9,38						
88 mm								
76 mm								
64 mm	8,30							
50 mm	8,00							
38 mm		7,97	8,03	7,99				
32 mm	7,63		7,72	7,69	7,23	7,96	7,74	7,99
25 mm	7,68			7,60	7,37		7,35	7,50
19 mm	6,83	6,76		6,99	6,97			6,35
16 mm		6,34	6,36		6,05	6,80		
12,5 mm							6,66	
9,5 mm		5,57	5,59					
8,0 mm					5,74			
6,4 mm								
4,8 mm			4,49	3,27	3,05	3,63	3,38	2,74
2,4 mm			2,39					
1,2 mm								

Tabela 2.7 - Módulo de Finura (MF) e Dimensão Máxima Característica (Dmax) de amostras de brita da RMF.

2.4.2.3 - Massa específica real e aparente

A massa específica dos agregados pode ser determinada de várias maneiras, ou seja, dos grãos isolados e do agregado solto, compactado, seco ou úmido.

A massa específica real do agregado é a massa por unidade de volume da parte sólida do grão, excluídos os vazios. Trata-se de uma propriedade específica do material, devendo ser determinada segundo a NBR NM 52 para o agregado miúdo e NBR NM 53 para o agregado graúdo. O conhecimento da massa específica real é de grande utilidade no estudo de dosagem do concreto para que possam ser feitos os cálculos de consumo de cimento por m³ em função do traço de concreto.

A massa específica aparente ou massa unitária do agregado é a massa por unidade de volume, incluídos os vazios entre os grãos. A NBR NM 45 prescreve o método para determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto, procurando-se desse modo reproduzir a situação da obra, quando o operário transporta o agregado em balde ou padiolas, sem adensamento. Este valor depende do grau de compactação e da umidade e tem grande importância em tecnologia para converter as composições do concreto dadas em massa para volume e vice-versa.

Os resultados dos ensaios para determinação da massa específica e massa unitária dos agregados graúdos utilizados na RMF estão na tabela 2.8. Os resultados apresentados são provenientes de ensaios realizados em amostras classificadas como Brita 2 ou 25 mm e em amostras classificadas como Brita 1 ou 19mm, os valores foram equivalentes.

ENSAIO	ROCHAS GRANÍTICAS					FONÓLITO
	Itaitinga	Caucaia 1	Caucaia 2	Caucaia 3	Pacatuba	Eusébio
Massa Específica Real (kg/dm ³)	2,6	2,61	2,6		2,61	2,48
Massa Unitária (kg/dm ³)	1,33	1,48	1,34	1,39	1,36	1,24
Índice de Forma	2,7	3,6	3,9		3,3	2,9
Teor de Argila em Torrões (%)	0	0	0	0	0	0
Abrasão Los Angeles (% perdas)	28	29	32	31,3	31	28

Tabela 2.8 – Resultados de ensaios para caracterização do agregado graúdo utilizado na RMF.

2.4.2.4 – Qualidade da brita usada como agregado graúdo

A qualidade dos agregados pode ser avaliada por índices definidos pelas normas ABNT pertinentes. As principais características de qualidade dos agregados graúdos, que podem influir na composição final do concreto, prescritas na NBR 7211, são: resistência aos esforços mecânicos, presença de substâncias nocivas e forma dos grãos.

2.4.2.4.1 – Resistência aos esforços mecânicos

Os agregados devem ter grãos resistentes e duráveis, devendo sua resistência aos esforços mecânicos ser pelo menos superior à da pasta de cimento e água depois de endurecida.

Os agregados estão sujeitos a esforços de impacto, esmagamento, desgaste e abrasão, havendo vários ensaios que reproduzem cada um destes esforços, sendo o ensaio de abrasão o mais comumente utilizado. O ensaio de Abrasão *Los Angeles*, cujo método está descrito na NBR NM 51, determina a potencialidade dos agregados a se desgastarem, sendo influenciado pelo grau de coesão dos fragmentos e pelo seu formato.

Foram realizados ensaios pelo método abrasão *Los Angeles* em amostras de agregado graúdo classificadas como Brita 2 ou 25mm. Conforme pode ser visto na tabela 2.8, os resultados dos ensaios abrasão *Los Angeles* revelam valores bem inferiores ao limite máximo de 50%, em massa, do material, definido na NBR 7211.

2.4.2.4.2 – Substâncias nocivas

Os pedregulhos utilizados como agregado graúdo estão, geralmente, contaminados com impurezas que podem interferir química ou fisicamente nas propriedades do concreto, ou seja: torrões de argila e partículas friáveis; material pulverulento; materiais carbonosos; matéria orgânica e sais solúveis.

Para agregados graúdos resultantes do britamento de rochas estáveis, apenas a determinação da quantidade de torrões de argila e materiais friáveis é importante, sendo o seu teor limitado, segundo a NBR 7211, aos seguintes limites máximos em porcentagem do peso do material, para o agregado graúdo:

- em concreto aparente: 1,0%;
- em concreto sujeito a desgaste superficial: 2,0% e
- nos demais concretos: 3,0%.

Como todo o material utilizado como agregado graúdo na RMF é proveniente do britamento de rochas, foi realizado o ensaio de determinação do teor de argila em torrões e

materiais friáveis, conforme a NBR 7218 em amostras de agregado graúdo classificadas como Brita 2 ou 25mm.

Conforme pode ser observado na tabela 2.8, os resultados do ensaio para determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis revelam valores abaixo do limite máximo de 1 %, em peso, do material, definido na NBR 7211, para qualquer tipo de concreto.

2.4.2.4.3 – Forma dos grãos

A forma dos grãos tem efeito importante no que se refere à compacidade, à trabalhabilidade e ao ângulo de atrito interno.

Na fabricação do concreto, na maioria dos casos, devem-se preferir agregados de grãos arredondados, como os pedregulhos, pois os agregados contendo partículas lamelares são prejudiciais, pois os grãos com este formato dificultam o adensamento do concreto, impedindo a inter penetração dos grãos. No entanto, nos concretos fabricados com material resultante de britamento de rocha tem-se maior aderência entre os grãos e a argamassa, devido à forma irregular dos grãos, conseguindo-se, assim, maior resistência ao desgaste e à tração.

De acordo com a NBR 7211, o índice de forma dos grãos do agregado graúdo não deve ser superior a 3, quando determinado de acordo com a NBR 7809 – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Na tabela 2.8 são apresentados os resultados da determinação do índice de forma em amostras de agregado graúdo classificadas como Brita 2 ou 25mm, que, em parte, estão em desacordo com o prescrito na NBR 7211.

2.5 – PROCESSOS PRODUTIVOS

Atualmente, a RMF possui 09 (nove) concessões de lavra e 12 (doze) licenciamentos, totalizando 21 (vinte e uma) áreas regularizadas para produção de pedra britada, distribuídas conforme a tabela 2.9.

	CONCESSÃO DE LAVRA	REGISTRO DE LICENÇA	REQUERIMENTO DE LAVRA
CAUCAIA		08	01
EUSÉBIO	01		
ITAITINGA	03	03	02
MARACANAÚ	01		01
MARANGUAPE	01		
PACATUBA	03	01	
	09	12	04

Tabela 2.9 – Distribuição dos títulos minerários para pedra britada nos municípios da RMF em dezembro/2010. Fonte: DNPM/Sistema de Outorga Mineral.

Das 09 (nove) concessões de lavra apenas duas não estão em operação, pois se encontram com os trabalhos de lavra suspensos. Com relação às áreas em regime de licenciamento, 07 (sete) estão com os trabalhos de lavra ativos.

A RMF possui 12 (doze) unidades produtoras de brita em operação e 03 (três) usinas paralisadas. Entre as áreas com registro de licença, 04 (quatro) não possuem usinas para produção de brita, tendo produção manual de pedra para alvenaria, alicerce, calçamento e pedra de cantaria (paralelepípedos e meio-fio). Ainda existem locais com produção informal de pedra tosca.

Comparando com a situação geográfica das áreas produtoras de brita quando da execução do Plano Diretor de Mineração da RMF entre 1996 e 1998, a distribuição das áreas em lavra e unidades de britagem praticamente não mudou como pode ser verificado no mapa da figura 2.9, destacando-se que as cinco áreas produtoras de brita permanecem praticamente inalteradas, estando detalhadas nos mapas das figuras de 2.10 a 2.14.

2.5.1 – Lavra

A lavra inclui o desmonte do maciço rochoso, o carregamento e o transporte do material para a usina de beneficiamento.

Todas as áreas produtoras operam em lavra a céu aberto, em meia encosta. Após a limpeza do maciço rochoso (retirada de vegetação e excesso de solo) é iniciada a execução do plano de fogo para o desmonte primário (perfuração e detonação por explosivos), seguido do desmonte secundário (fogacho e/ou rompedores hidráulicos), que pode ou não ser necessário, do carregamento e do transporte dos fragmentos de rocha para locais junto às instalações de britagem, denominadas praças de alimentação, para armazenagem temporária e alimentação dos britadores em horários específicos ou diretamente para os britadores primários. Nas áreas em que não há unidades de britagem, o material oriundo do desmonte é processado de forma manual e nas dimensões de pedra de mão, é carregado e transportado diretamente para venda. Quando a produção é de pedra de cantaria, o beneficiamento é realizado no próprio local da lavra.

Os principais equipamentos e insumos utilizados nas operações de lavra são: tratores; escavadeiras; pás-carregadeiras; perfuratrizes pneumáticas ou marteletes manuais, caminhões (fora-de-estrada ou urbanos adaptados); explosivos e acessórios de detonação.

2.5.1.1 – Caracterização da Lavra

A lavra de um maciço pode ser em bancadas ou em paredão, ambos os métodos são aplicados na RMF.

A lavra em bancadas necessita de uma área maior para construção de vias de acesso aos diferentes níveis de avanço do desmonte. Possibilita o uso de perfuratrizes de carreta e de explosivos de maior eficiência, tendo como resultado um material mais uniforme, diminuindo a necessidade de fogo secundário e melhorando o regime de alimentação da britagem. A lavra em bancadas pode ser tanto em encosta quanto em cava. Na RMF, a lavra por bancadas é realizada pelas empresas de maior porte e que possuem unidade de britagem. Apenas uma área, localizada no município de Eusébio, desenvolve a lavra em cava, todas as outras, localizadas nos municípios de Itaitinga, Caucaia e Maracanaú, desenvolvem a lavra em encosta. A altura das bancadas varia de 9 a 16 metros, operando com número de bancos entre 1 e 3 (Fotos 2.15, 2.16 e 2.17).

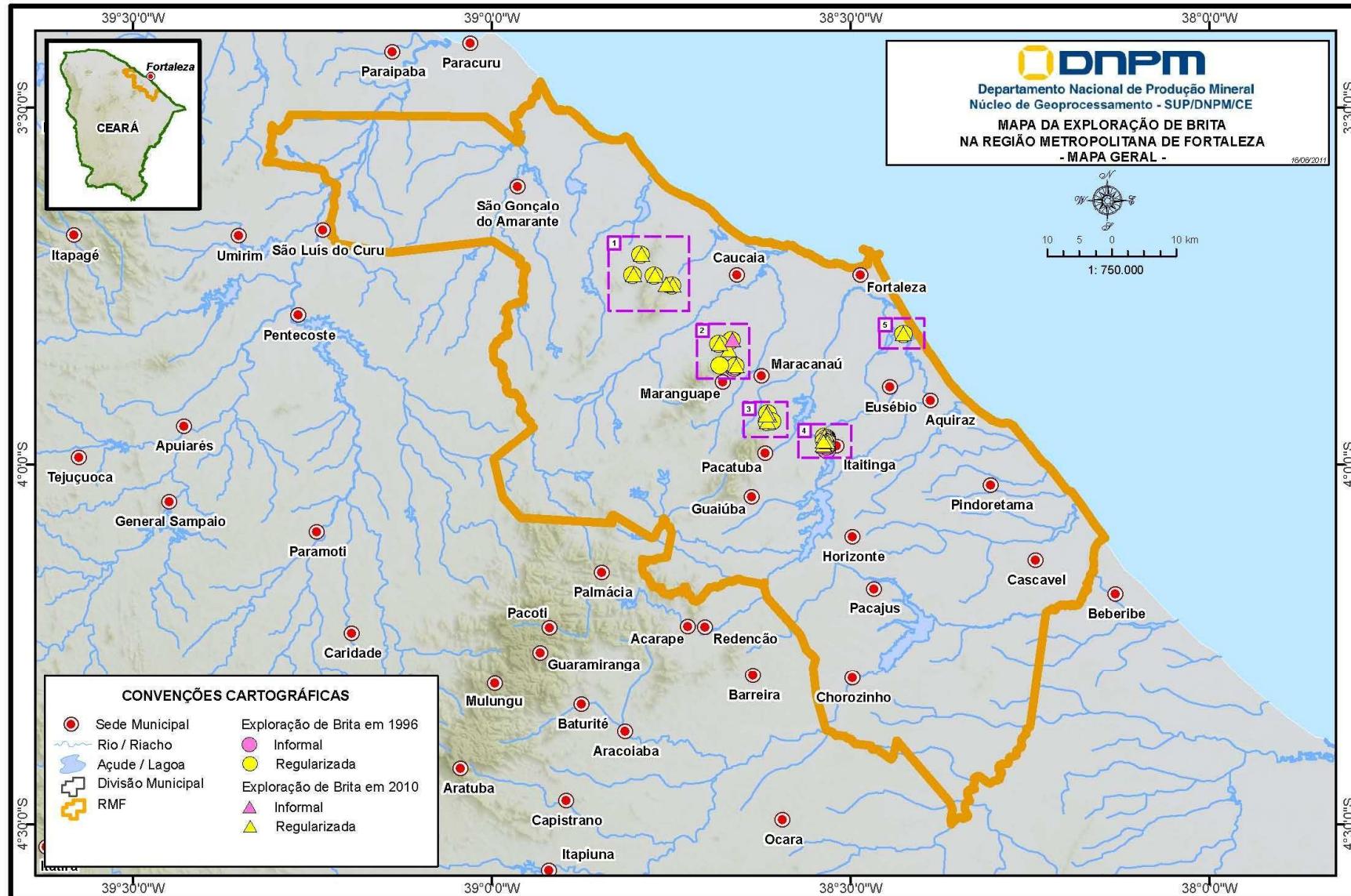


Figura 2.9 – Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza com a indicação das áreas produtoras de brita em 1996 e 2010.

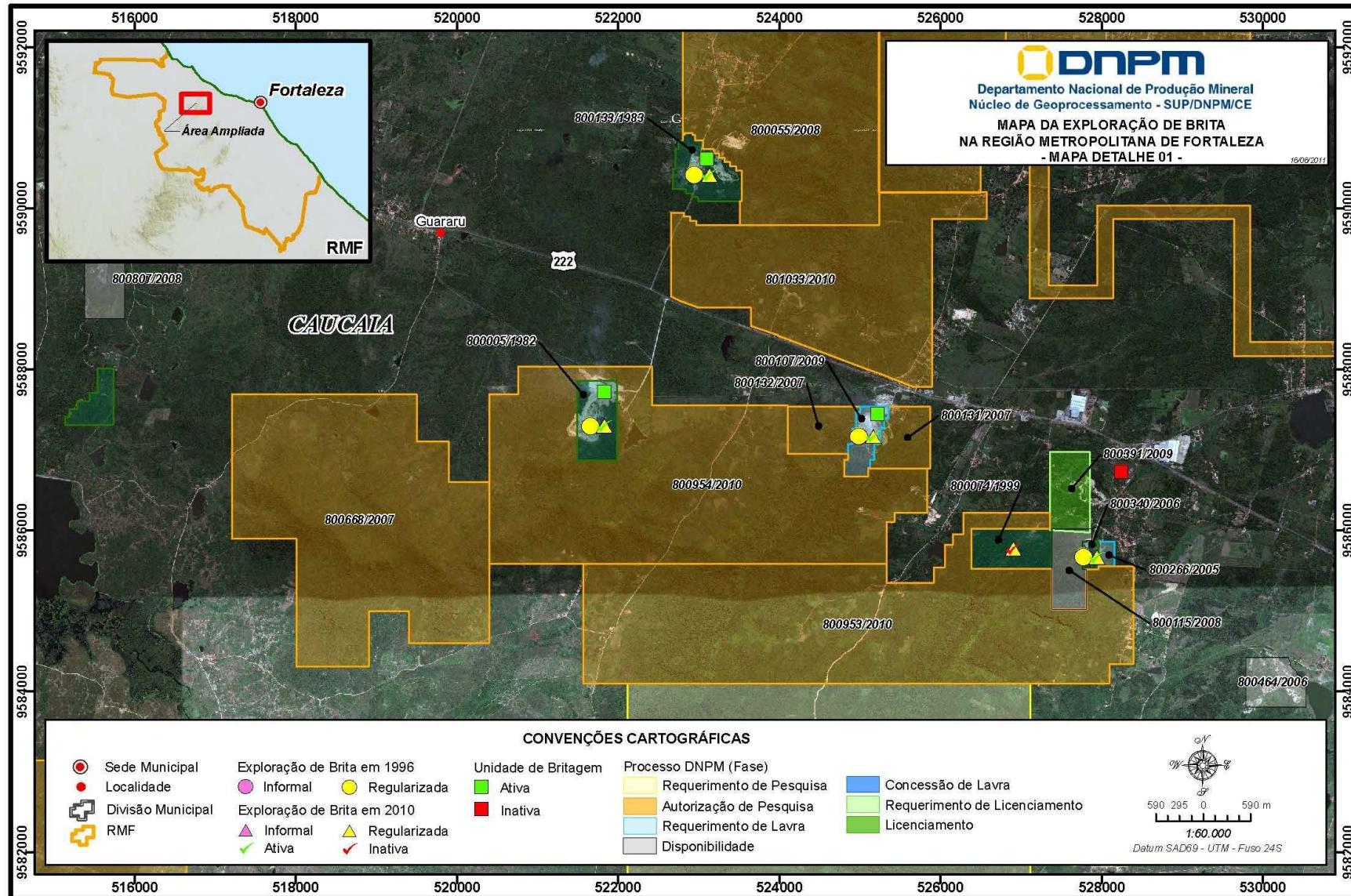


Figura 2.10 – Mapa de detalhe da área produtora de brita de Caucaia com a indicação das áreas produtoras em 1996 e 2010.

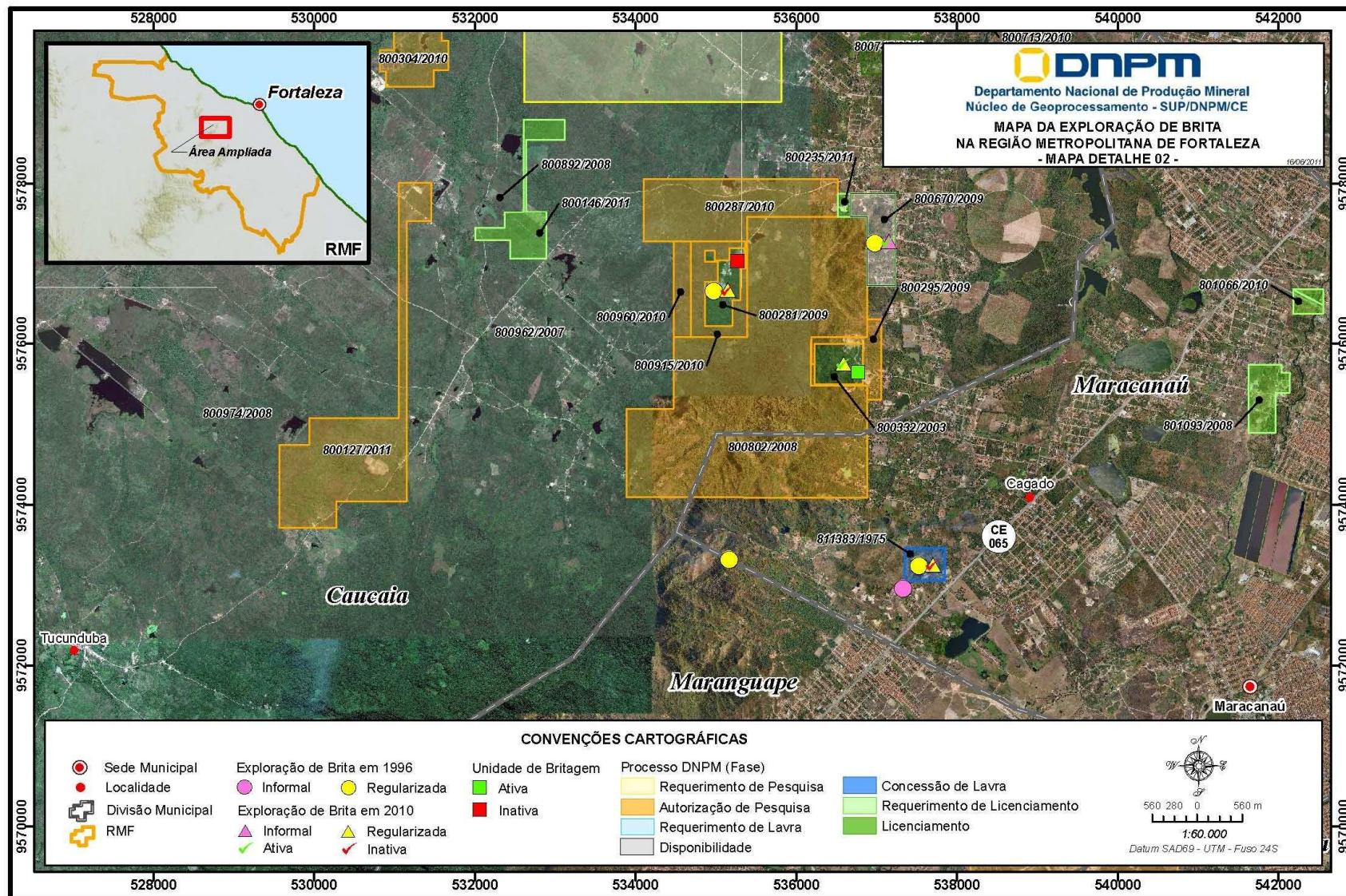


Figura 2.11 – Mapa de detalhe da área produtora de brita de Maranguape-Maracanaú com a indicação das áreas produtoras em 1996 e 2010.

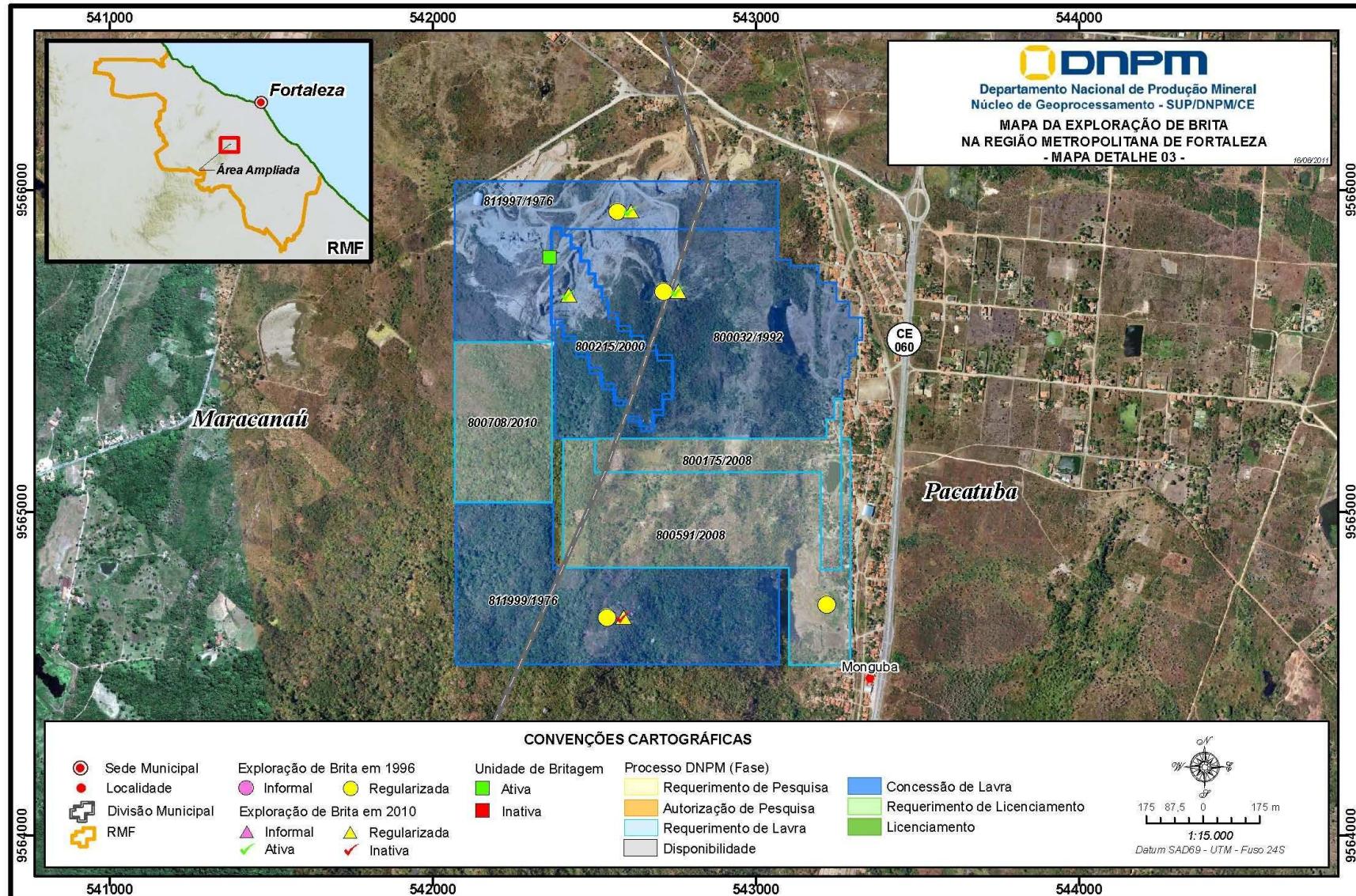
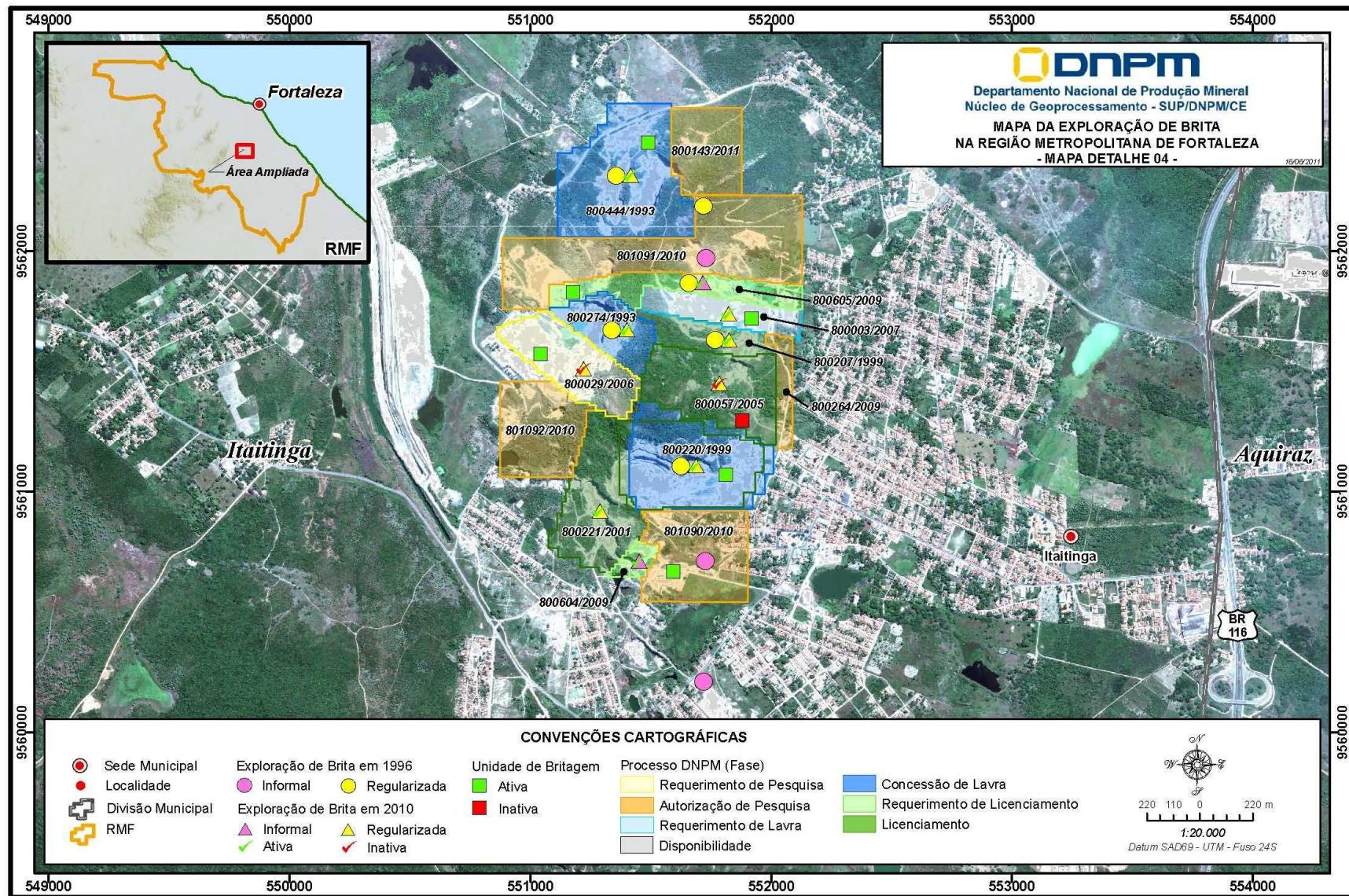


Figura 2.12 – Mapa de detalhe da área produtora de brita de Pacatuba com a indicação das áreas produtoras em 1996 e 2010.



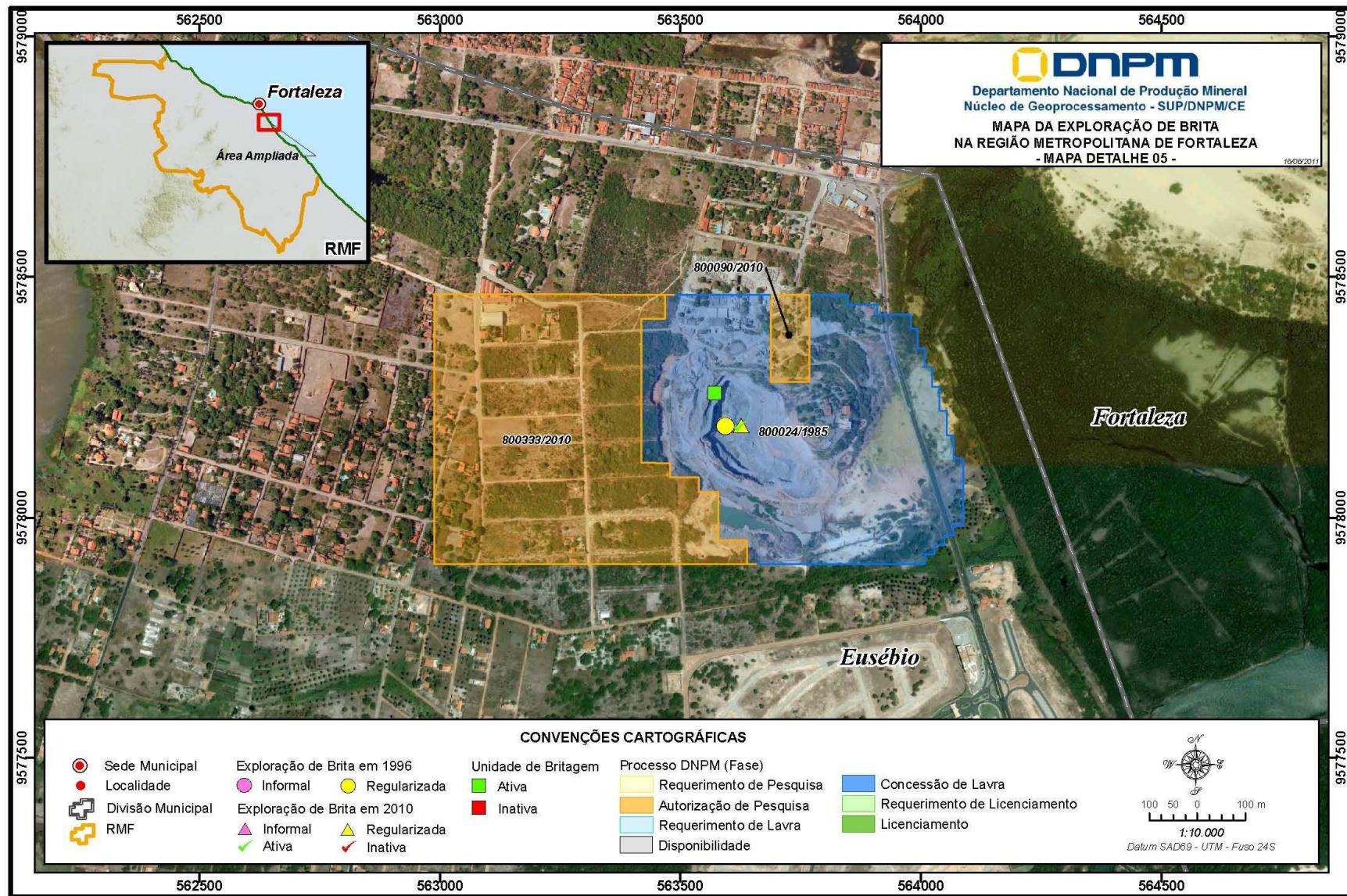


Figura 2.14 – Mapa de detalhe da área produtora de brita de Eusébio com a indicação das áreas produtoras em 1996 e 2010.



Figura 2.15 – Lavra em bancada desenvolvida em meia encosta, município de Caucaia.

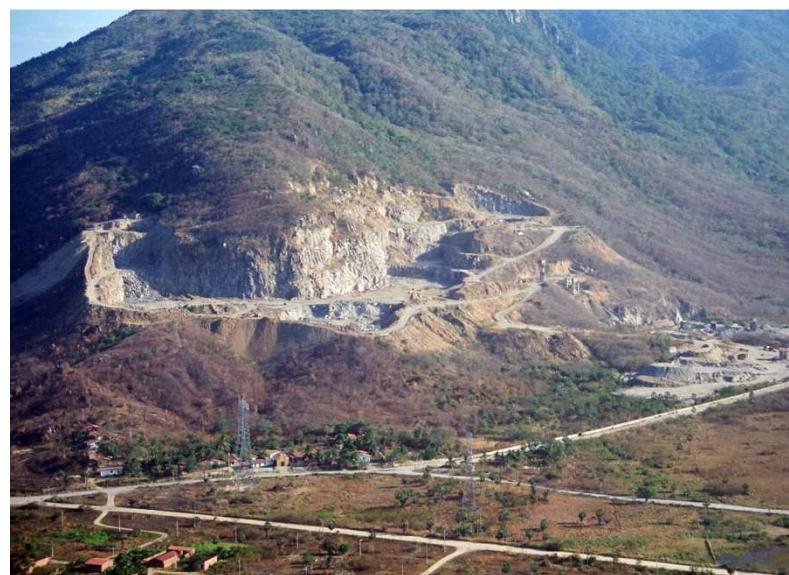


Figura 2.16 – Lavra em bancada desenvolvida em meia encosta, município de Pacatuba.



Figura 2.17 – Lavra em cava em pedreira localizada no município de Eusébio.

A lavra em paredão dificulta a mecanização do desmonte, sendo utilizadas perfuratrizes manuais e explosivos de menor eficiência, resultando em material menos homogêneo, o que aumenta a necessidade de fogo secundário e a queda de eficiência da britagem primária. Na RMF, a lavra em paredão é utilizada, principalmente, por empreendimentos de pequeno porte, que não possuem unidades de britagem (figura 2.18).



Figura 2.18 – Lavra em paredão em pedreira localizada no município de Itaitinga.

O que se observa atualmente na RMF é que a aplicação correta da lavra em bancadas, com desenvolvimento descendente em bancadas, permitindo o acesso das operações de carregamento e transporte a cada uma das bancadas, se restringe a algumas empresas mais bem estruturadas e que creem que o investimento em tecnologia de mineração trará maior eficiência aos trabalhos de lavra. Na maioria dos casos, as empresas não operam dentro dos padrões estabelecidos, iniciando-se pela falta de pesquisa geológica e do planejamento da lavra. É comum serem feitos grandes taludes, muitas vezes únicos, que não oferecem segurança, economia e nem operacionalidade às atividades de lavra. Também é comum a má conservação dos acessos, descuidos ambientais, praças irregulares, variações de alturas de bancadas, não existência de bota-fora (depósitos de estéril) projetado, sendo o material depositado de forma aleatória ao redor das frentes de lavra.

A razão entre a quantidade de material indesejado que deve ser retirada e a quantidade de minério recuperada é denominada Relação Estéril/Minério (REM). A REM é função do preço do produto, do custo de produção, do teor do minério e do custo de remoção do estéril. Entre as unidades estudadas 50% operam com a relação 0/1, 30% com 1/3 a 1/7 e 20% com 1/8 a 1/10.

Com relação à recuperação da lavra, todas informaram valores acima de 85%, sendo que a maioria tem recuperação superior a 95%.

Os principais equipamentos utilizados nas operações de lavra são: perfuratrizes de carreta rotopneumáticas, perfuratrizes de carreta hidráulicas, marteletes manuais, pás carregadeiras, retroescavadeiras, rompedor hidráulico, *drop ball*, caminhões basculantes fora de estrada, caminhões basculantes comuns, trator de esteiras com lâminas, compressores de ar estacionários elétricos e compressores móveis a diesel.

Existe, em alguns casos, certa defasagem em equipamentos, os quais ou são mal dimensionados ou antigos e mal conservados, podendo ainda ser usados equipamentos inadequados para as operações a que se destinam.

2.5.1.2 – Desmonte Primário

A execução do desmonte primário é composta de perfuração, carga, detonação e remoção do material.

A eficiência do desmonte depende de uma perfuração bem executada, com controle topográfico na pré-marcação e no nivelamento dos furos. A malha de perfuração é definida como ($V \times E$). O afastamento (V) é a distância entre duas linhas sucessivas de furos, sendo que em caso de uma única linha de furo, será definido como a distância entre a linha de furo e a face livre da bancada. O espaçamento (E) é a distância entre furos sucessivos da mesma linha. A definição da malha de perfuração está condicionada à presença de estruturas geológicas, ao fraturamento da rocha, à fragmentação desejada, ao risco de acidente devido à proximidade de área povoada, ao tipo de explosivo e à escala de produção. A situação nas áreas produtoras da RMF é apresentada em seguida.

- Com relação ao equipamento de perfuração empregado, as empresas de maior porte e que possuem unidade de britagem, totalizando onze, operam com perfuratrizes de carreta de acionamento pneumático, tendo uma empresa que também utiliza perfuratriz hidráulica (Foto 2.19). Nas quatro unidades de pequeno porte que não possuem britador, a perfuração é realizada com marteletes manuais acionados por compressores móveis a diesel, na maioria das vezes sem os equipamentos de segurança necessários (Foto 2.20).

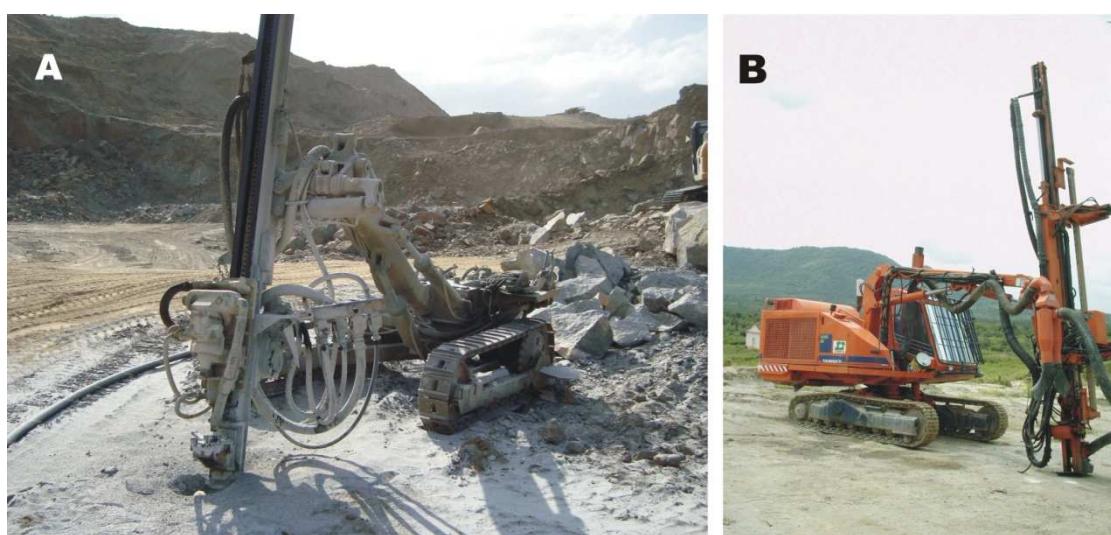


Figura 2.19 – Perfuratrizes de carreta utilizadas na RMF. A – Perfuratriz pneumática, município de Pacatuba; B – Perfuratriz hidráulica, município de Caucaia.

- As empresas que utilizam perfuratrizes de carreta adotam malhas de perfuração, enquanto que as que utilizam martelete manual furam de acordo com a necessidade, sem nenhum planejamento.

- As empresas que utilizam perfuratrizes de carreta realizam perfurações com profundidade máxima variando de 12 a 20 metros, com a maioria executando perfurações a profundidades abaixo de 15 metros. Naquelas que utilizam martelete manual a profundidade máxima é de 4 metros, mas normalmente as perfurações não ultrapassam 3,20 metros.

- O diâmetro do furo é função do equipamento disponível para executar as perfurações, das onze empresas que utilizam perfuratriz de carreta apenas duas realizam perfurações com diâmetro de 3,5", todas as outras perfuram com 3". No caso das quatro empresas que utilizam marteletes manuais, o diâmetro de perfuração varia entre 1 e 2".



Figura 2.20 - Perfuração realizada com marteletes manuais acionados por compressores móveis a diesel, em que não são utilizados os equipamentos de segurança obrigatórios. A – Pedreira localizada no município de Caucaia; B – Pedreira localizada no município de Itaitinga.

No desmonte de rochas é obrigatória a adoção do “Plano de fogo”, nome dado ao desmonte de cada bancada, contendo todas as informações necessárias ao desmonte do maciço, devendo ser elaborado por profissional habilitado (*Blaster*), responsável pelo armazenamento, preparação das cargas explosivas, carregamento dos furos, ordem de fogo, detonação e retirada de explosivos não detonados e providências quanto ao destino adequado das sobras de explosivos.

O carregamento do furo divide-se em três segmentos: carga de fundo; carga de coluna e tampão. A carga de fundo tem a maior concentração de explosivo, distribuído por igual no comprimento equivalente ao afastamento multiplicado por um fator igual a 1,3", quando detonadas várias linhas de fogo, as mais distantes da face têm quantidade maior de explosivo, para conseguir empurrar o material das primeiras linhas. A carga de coluna tem concentração de explosivo entre 40 e 50 % da carga de fundo, distribuído na extensão, em metros, equivalente a altura da bancada menos 2,3 vezes o afastamento. O tampão é a parte superior do furo, não é carregada com explosivos e sim com areia seca, pó de pedra ou argila, tem comprimento igual ao do afastamento e a existência do tampão aumenta o poder destrutivo da explosão (fogo).

Os explosivos são fornecidos em vários diâmetros, desde aqueles inferiores a 32 mm (1 ¼") até acima de 32mm, podendo ser acondicionados em cartuchos ou invólucros que fazem parte de sua formulação. Também são utilizadas as denominadas *slurry* ou “lamas explosivas”, acondicionadas em “salsichas plásticas”. Para iniciação da carga explosiva principal são usados acessórios de detonação, que podem ser classificados em: estopim e espoletas simples, espoletas de retardo, cordel detonante, retardo de cordel e sistema não elétrico associado a espoletas de retardo.

Na RMF, nos desmontes em que são usadas perfuratrizes de carreta e que têm malha de perfuração definida, a maioria utiliza como carga de fundo “encartuchado” e como carga de coluna “granulado”. Duas empresas utilizam como carga de fundo explosivo “ensalsichado” tipo emulsão e como carga de coluna utilizam “granulado”. Uma única empresa na RMF terceiriza a detonação para uma empresa especializada, que realiza o carregamento dos furos através de bombeamento de emulsão explosiva, não havendo distinção entre a carga de

coluna e a de fundo. O tampão mínimo varia de 1,2 a 2 metros. Os acessórios de detonação utilizados são sistema não elétrico associado a espoletas de retardo, cordel detonante e espoleta elétrica de retardo (Figuras 2.21 e 2.22).



Figura 2.21 – Exemplo de carregamento dos furos através de bombeamento de emulsão tipo *powergel SE* (emulsão explosiva pura), realizado pela empresa Orica do Brasil S.A. Fonte: Quaglio, 2003.



Figura 2.22 – Exemplo do carregamento manual dos furos com explosivos. Fonte: <http://www.visaconsultores.com/htm/desmonte.htm>

Nos desmontes em que são utilizados marteletes manuais não há distinção entre carga de fundo e de coluna sendo utilizado sempre “granulado”. Como acessórios de detonação utilizam cordel e estopim.

A razão de carga ou de carregamento é a relação entre a quantidade de explosivo, expresso em quilograma, e o volume de rocha desmontado, expresso em m^3 . Na RMF, nos desmontes que adotam malha de perfuração, a razão de carga pode variar de 0,45 a 0,75 kg/m^3 .

Com relação à estocagem dos explosivos, as empresas de maior porte que possuem unidades de britagem possuem, pelo menos, dois paíóis, um para os explosivos e outro para os acessórios de detonação, de acordo com o Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105), aprovado pelo Decreto n.º 3.665, de 20/11/2000 (Figura 2.23). Nas

pedreiras de pequeno porte, a operação de desmonte de rocha com explosivos é, na maioria das vezes, terceirizada, não havendo paióis dentro das áreas tituladas.



Figura 2.23 – Paióis utilizados para armazenagem de material explosivo. Áreas localizadas nos municípios de Itaitinga (A), Pacatuba (B) e Caucaia (C).

2.5.1.3 – Desmonte Secundário

O desmonte secundário é necessário quando, após o desmonte primário, ainda estão presentes blocos com dimensões superiores a abertura do britador primário ou quando a detonação foi insuficiente no pé da bancada, ocasionando uma porção residual não desmontada, que causará problemas nos desmontes subsequentes. Poderá ser realizado com a utilização de fogacho (fogo secundário) ou desmonte mecânico com a utilização de rompedor hidráulico e *drop ball*.

Na execução do fogacho, os blocos de rocha são perfurados com o emprego de martelete pneumático e os furos são carregados com pequena quantidade de explosivo para serem detonados e se obter o tamanho de bloco desejado. Essa é uma operação que requer muitos cuidados, pois ao contrário do desmonte primário é impossível controlar para onde serão lançadas as pedras detonadas por fogacho. A equipe de detonação deve tomar todos os cuidados necessários na execução dessa tarefa.

O rompedor é usado acoplado a uma escavadeira, tratando-se de uma máquina de impacto, hidráulica, que quebrará o bloco de rocha em pedaços menores, adequando-o ao tamanho desejado (Figura 2.24).



Figura 2.24 – Rompedores hidráulicos utilizados no desmonte secundário em pedreiras localizadas nos municípios de Pacatuba (A) e Caucaia (B).

O sistema *drop ball* consiste em uma esfera de aço de peso elevado içada por uma escavadeira, que a lança sobre o bloco de rocha, fragmentando-o em pedaços menores.

Na RMF, das onze empresas com lavra em operação e que possuem unidade de britagem apenas uma não possui rompedor hidráulico e somente duas não utilizam fogo secundário (fogacho). Destas, uma empresa possui *drop ball* e rompedor hidráulico, mas também pode utilizar fogacho, quando os blocos apresentam dimensões muito grandes. O uso de fogo secundário está sendo, cada vez mais, substituído pelo desmonte mecânico, diminuindo assim o uso de explosivos e gerando um significativo ganho ambiental.

Nas pedreiras de pequeno porte, após o desmonte primário, tanto pode ser utilizado o fogacho nos blocos maiores quanto estes podem ser marroados, de modo extremamente rudimentar.

2.5.1.4 – Carregamento e transporte

Após o desmonte, a rocha desmontada deve ser transportada para o britador primário. O carregamento pode ser feito por pás carregadeiras de pneus, que apresentam grande mobilidade, ou por escavadeiras, que embora apresentem mobilidade menor e investimento maior, possuem custo operacional menor e maior vida útil.

Na RMF, todas as frentes de lavra apresentam distância média para o britador primário superior a 100 metros, ou seja:

- 40% apresentam distância média entre 100 e 200 metros;
- 40 % apresentam distância média entre 201 e 400 metros e
- 20 % apresentam distância média entre 401 e 600 metros.

O carregamento é realizado com pás carregadeiras e escavadeiras com retro ou com *shovel*. Todas as empresas possuem pelo menos uma pá carregadeira e uma escavadeira, havendo algumas que possuem até três escavadeiras nos trabalhos de lavra (Figuras 2.25 e 2.26). Nas áreas de lavra que só possuem uma escavadeira, esta é usada tanto com concha quanto com rompedor hidráulico, ou seja, no carregamento e no desmonte secundário (Figura 2.27).



Foto 2.25 – Retroescavadeiras utilizados no carregamento dos caminhões para transporte da rocha para o britador primário em pedreiras localizadas nos municípios de Pacatuba (A) e Caucaia (B).

O transporte do material desmontado para o britador primário é realizado com caminhões basculantes fora de estrada (*off road*) com capacidade de 22 e 10 m³ (Figura 2.28) e caminhões basculantes com capacidade de 6 e 12 m³ (Figura 2.29).



Figura 2.26 – Pá carregadeira e retroescavadeira utilizadas no carregamento dos caminhões para transporte da rocha para o britador primário em pedreiras localizadas nos municípios de Itaitinga (A) e Eusébio (B).



Figura 2.27 – Escavadeira e rompedor hidráulico em operação em pedreira do município de Itaitinga.



Figura 2.28 – Caminhões fora de estrada utilizados no transporte para a unidade de britagem em pedreiras localizadas nos municípios de Pacatuba (A) e Caucaia (B).



Figura 2.29 – Caminhões basculantes comuns utilizados no transporte para a unidade de britagem em pedreiras localizadas nos municípios de Itaitinga (A) e Eusébio (B).

Nos pequenos produtores, que produzem pedra de cantaria, pedra marroada e pedra bruta, o carregamento dos caminhões é manual (Figura 2.30).



Figura 2.30 – Carregamento manual dos caminhões em pedreira localizada no município de Itaitinga

2.5.2 - Beneficiamento

Para produção de brita, o material oriundo do desmonte é transportado para a unidade de britagem, em que será submetido às seguintes etapas de beneficiamento: fragmentação ou cominuição, realizada por britadores e classificação, executada por peneiras.

A rocha é submetida a sucessivos processos de fragmentação para reduzi-la a fragmentos de tamanhos adequados ao uso a que se destina. Estas etapas de fragmentação são denominadas britagem e rebritagem. A primeira refere-se à britagem primária, enquanto a rebritagem engloba todos os estágios subsequentes de fragmentação da rocha. O conjunto de britagem é composto por vários elementos distintos: alimentador vibratório, britador primário, rebritadores, conjunto de peneiras e correias transportadoras (Figura 2.31).

Os britadores mais comuns são os de mandíbulas, que trituram a rocha por esmagamento (tipo moinho), e os que apresentam movimentos contínuos, como os giratórios ou cônicos e de rolos, que quebram a rocha por atrito.

Na britagem primária, o material resultante do desmonte é descarregado pelos caminhões no alimentador vibratório, que por sua vez, como o próprio nome diz, alimenta o britador primário (Figura 2.32). O equipamento mais empregado na britagem primária é o britador de mandíbulas, que pode ser de 1 eixo ou de 2 eixos (tipo *Blake*), muito embora os

britadores giratórios também sejam usados como britadores primários. Todas as unidades de britagem da RMF utilizam britadores de mandíbula de 1 eixo como primários (Figura 2.33). Na tabela 2.10 estão representados os britadores primários em operação na RMF em 2000 e 2010, tendo a capacidade de produção dos britadores sido calculada com base no Manual de Britagem da Faço (1982), podendo ser considerado que:

- das nove unidades que continuam operando em 2010, apenas três continuam com o mesmo equipamento;
- No período de dez anos duas unidades paralisaram suas atividades, mas, no mesmo período, três iniciaram atividades;
- a capacidade instalada de britagem na RMF aumentou em torno de 35 % no período de 2000 a 2010;
- das 12 unidades de britagem em operação em 2010, nove utilizam britadores de mandíbulas com dimensões de boca iguais ou acima de (100 x 60)cm;
- em todas as unidades de britagem da RMF, após a britagem primária, o material é destinado para formar pilha intermediária, conhecida como pilha pulmão, que tem a finalidade de manter material em estoque para a rebritagem.

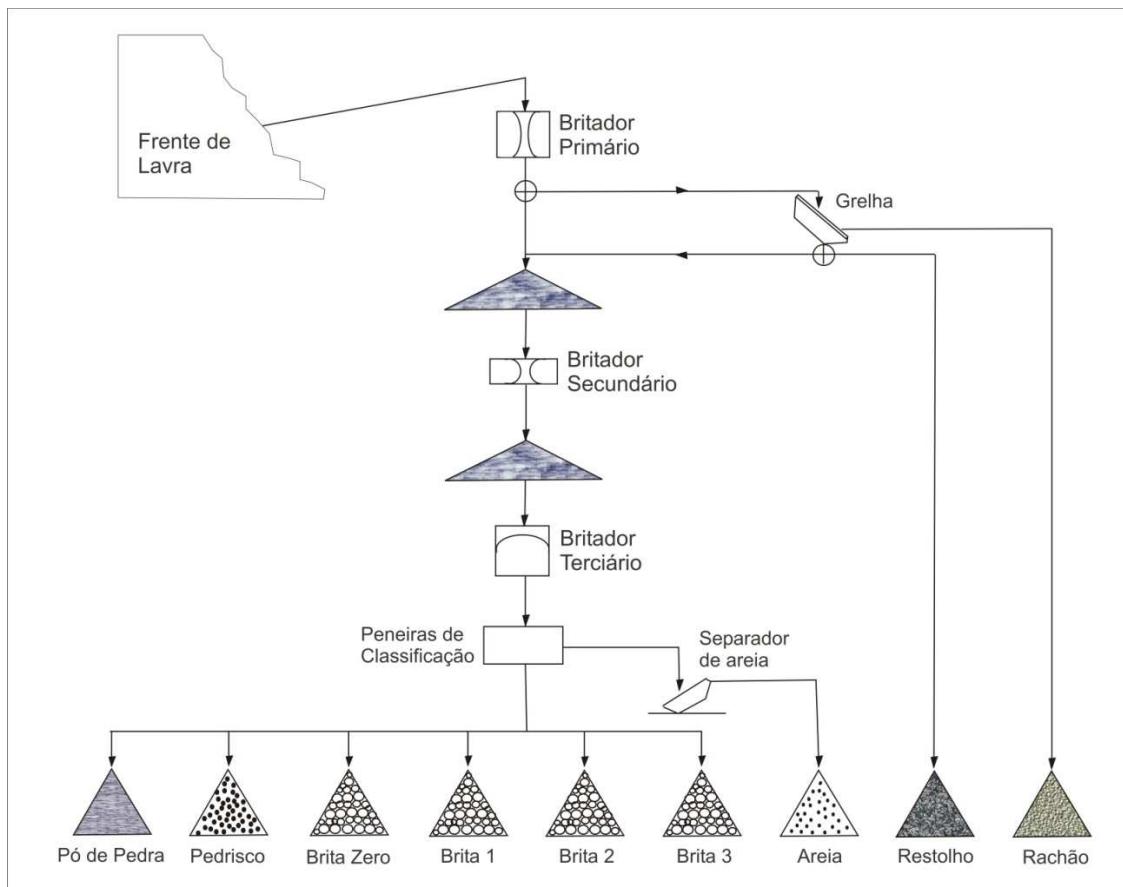


Figura 2.31 – Diagrama esquemático geral de um processo de britagem. Modificado de Bauer (1995).



Figura 2.32 – Caminhão descarregando material na caixa de alimentação do britador primário (A) e alimentador vibratório(B). Município de Pacatuba.

2000		2010	
Tamanho da entrada de alimentação (cm)	Capacidade instalada de produção (m ³ /h)	Tamanho da entrada de alimentação (cm)	Capacidade instalada de produção (m ³ /h)
62 x 40	44 - 55	Paralisado	Paralisado
62 x 40	44 - 55	100 x 60	88 - 115
62 x 40	44 - 55	125 x 100	155 - 230
62 x 30	30 - 44	Paralisado	Paralisado
62 x 40	44 - 55	80 x 50	65 - 88
90 x 60	80 - 110	90 x 60	80 - 110
110 x 80	100 - 155	120 x 80	120 - 170
100 x 60	88 - 115	100 x 60	88 - 115
100 x 80	95 - 145	100 x 80	95 - 145
62 x 40	44 - 55	100 x 60	88 - 115
100 x 60	88 - 115	120 x 110	155- 230
		120 x 80	120 - 170
		100 x 80	95 - 145
		62 x 40	44 - 55
			1268 - 1578

Tabela 2.10 – Britadores primários e capacidade de produção da RMF em 2000 e 2010, para uma para abertura de boca de saída de 4". As capacidades de produção indicadas podem variar com a natureza da rocha, grau de umidade, aderência e granulometria do material de alimentação.

Na rebitagem, o material da pilha pulmão transportado através de correias transportadoras segue para a segunda cominuição em britadores de mandíbula ou cônicos. Depois da rebitagem secundária, algumas unidades possuem outros estágios de britagem, em que são empregados britadores cônicos.

Na RMF, o segundo estágio de britagem é feito utilizando-se britadores de mandíbulas e cônicos. Apenas duas empresas utilizam britadores de mandíbula (62 x 40 cm), que eram utilizados como britadores primários e foram reaproveitados após a substituição do primário. As demais utilizam britadores cônicos, a maioria com capacidade nominal variando de 40 a 125 m³/h. Nos demais estágios são utilizados britadores cônicos.



Figura 2.33 – Britadores primários de mandíbulas em unidades de britagem do município de Itaitinga.

Com relação aos estágios de rebritagem, das doze unidades em operação, duas operam com quatro estágios, oito com três estágios e duas somente com rebritagem secundária (Figura 2.34).

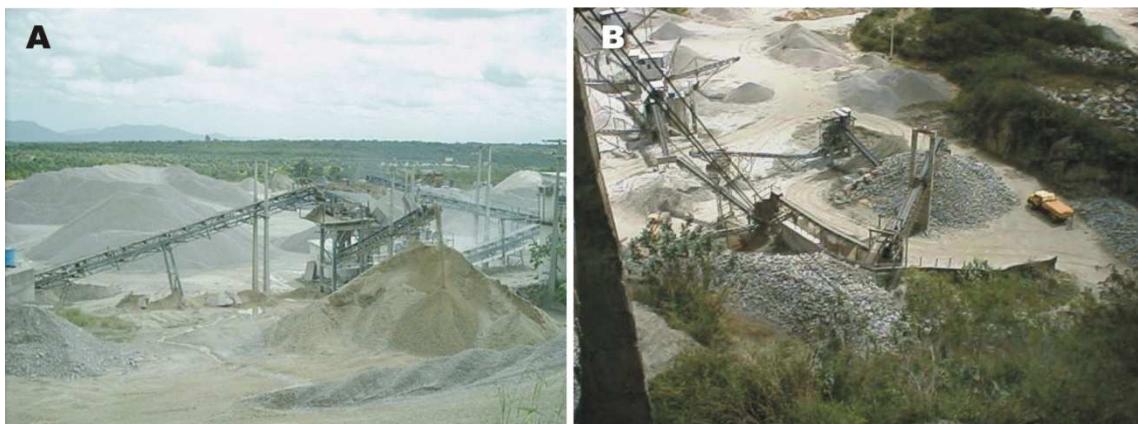


Figura 2.34 – Aspecto da rebritagem e classificação em unidades de britagem dos municípios de Itaitinga (A) e Pacatuba (B).

A classificação final do produto da rebritagem é realizada pelo conjunto de peneiras vibratórias, composto por uma ou mais peneiras. Cada peneira, que é uma tela, de arame ou borracha, retém ou deixa passar a brita. A brita que passa por uma peneira é a que será estocada. A brita retida é devolvida ao rebritador de forma sucessiva até que se obtenha o produto na granulometria desejada. A brita que passou na peneira cai numa bica e desta é conduzida por uma correia transportadora para formação da pilha final do produto. Em todas as unidades estudadas na RMF, a peneira de retorno é a de 25 mm, todo o material ali retido retorna para rebritagem, pois, atualmente, toda a brita produzida possui diâmetro máximo de 25 mm. Dependendo da demanda, as empresas também produzem pedra marroada ou pedra de mão (Figura 2.35).

Todos os circuitos de britagem possuem instalações fixas e são do tipo fechado, permitindo o retorno do material de granulometria indesejada para ser novamente britado.

A produção de pedra de cantaria é desenvolvida por produtores individuais, muitas vezes de uma mesma família. No município de Itaitinga, uma das áreas é explorada por uma associação de produtores, sendo o corte e dimensionamento realizados, manualmente, no próprio local da lavra (Figura 2.36).



Figura 2.35 – Aspecto da rebritagem, classificação e embarque em unidade de britagem do município de Caucaia.



Figura 2.36 – Produção de pedra de cantaria em pedreira localizada no município de Itaitinga.

2.5.3 – Estocagem e embarque

Após o beneficiamento, o material produzido deve ser estocado para aguardar o embarque nos caminhões. Em todas as unidades de britagem da RMF é utilizada a estocagem das britas em pilhas, formadas a partir do transporte de cada tipo de brita por correias transportadoras para as correspondentes pilhas. No carregamento dos caminhões para destinação final dos produtos são empregadas pás carregadeiras (Figura 2.37).

Das doze empresas com produção de brita, seis dispõem de balança, sendo cinco com capacidade para 100 toneladas e uma com capacidade para 42 toneladas (Figura 2.38).

A maioria das empresas possui frota própria operando com carretas com capacidade de 30 e 25m³ e caminhões com capacidade de 16m³, 12m³ e 6m³. Nas unidades que não possuem frota própria, a produção é embarcada em veículos terceirizados. Mesmo naquelas que possuem frota própria, parte do transporte da produção pode ser terceirizado.



Figura 2.37 – Equipamentos utilizados para embarque da brita em pedreiras localizadas em Caucaia (A) e Eusébio (B).



Figura 2.38 – Balança utilizada no embarque para pesagem da produção de brita comercializada em pedreira do município de Caucaia.

2.5.4 – Controle ambiental

A produção de brita ocasiona impactos ambientais tanto na etapa de extração quanto no beneficiamento, que são agravados quando as pedreiras estão localizadas nas proximidades de áreas urbanas.

O processo de desmonte com uso de explosivos acarreta inevitáveis impactos ambientais e desconforto para as populações do entorno, que ficam expostas cotidianamente aos seus efeitos. Os principais impactos são ultralançamentos de fragmentos, vibrações no terreno, emissão de poeira e gases tóxicos na atmosfera, aumento dos níveis de ruído e assoreamento das drenagens.

Dos ultralançamentos de fragmentos decorrem os maiores riscos pessoais e materiais, pois podem ocasionar acidentes com vítimas fatais em alguns casos. A NBR 9653 define ultralançamento como o arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação. Atualmente a ocorrência de eventos graves é muito rara, principalmente nas pedreiras de maior porte, que operam com planos de fogo, em que foram introduzidas novas técnicas de desmonte de maciços como razão de carregamento, bancadas menores, controle de inclinação dos furos e uso de explosivos mais eficientes, entre outras. Silva *et al* (2000 *apud* Ferreira *et al*, 2006) enumera como causas dos ultralançamentos: afastamento insuficiente ou excessivo; alinhamento impróprio dos furos;

iniciação instantânea de furos em filas consecutivas; tampão inadequado; fragilização da face livre ou ultraquebras decorrentes de desmontes anteriores. Na RMF, nas pedreiras que utilizam malha de perfuração, praticamente não há mais ultralançamentos, mas naquelas menores, que não operam com plano de fogo, ainda podem ocorrer eventos dessa natureza.

A geração de vibrações no terreno é um importante efeito do desmonte de rochas com explosivos e causa um grande desconforto à população circunvizinha à pedreira. A propagação das vibrações através do terreno pode provocar rachaduras em construções, mas, em geral, seu efeito se reduz ao incômodo ocasionado nas pessoas pela sensação de vibração ou tremor das edificações, podendo, em alguns casos, ocorrer oscilação ou queda de objetos. (CETESB,1983)

Outra fonte de vibrações que afeta os moradores do entorno das pedreiras decorre do tráfego de caminhões, problema que só pode ser solucionado se houver possibilidade de construção de vias de acesso alternativas contornando os núcleos urbanos afetados.

A poeira ou material particulado em suspensão é gerado nas operações de desmonte durante a perfuração, limpeza do furo com ar comprimido e na detonação da bancada. Também ocorre a liberação de grande quantidade de poeira nas atividades de cominuição e classificação, sendo as principais fontes emissoras as atividades de britagem, classificação, transporte por correias, estocagem, carregamento e transporte com caminhões (Figura 2.39).

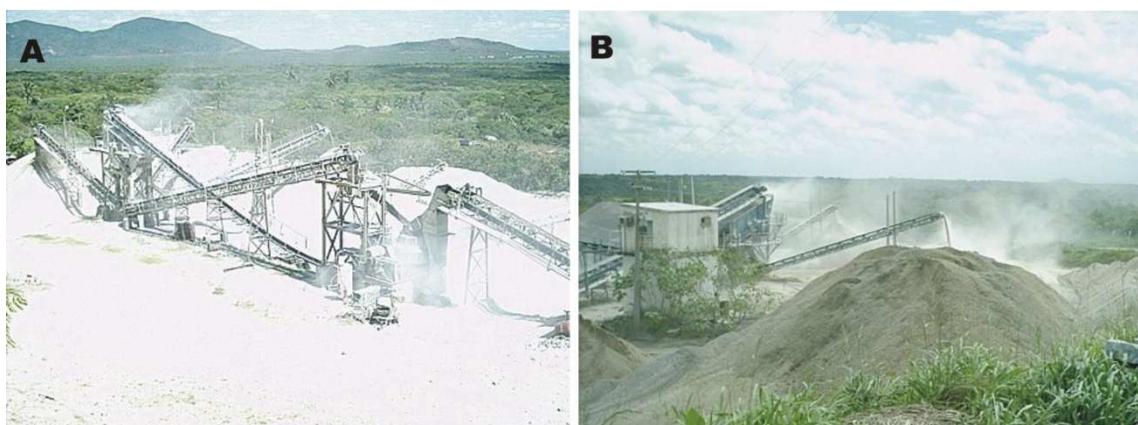


Figura 2.39 – Instalações de britagem nos municípios de Caucaia (A) e Itaitinga (B), em que se observa grande emissão de pó.

O aumento dos níveis de ruído está relacionado às detonações, ao trânsito de caminhões e máquinas e aos equipamentos de britagem. O maior incômodo é provocado pelas detonações (desmontes de bancadas e fogachos), pois os outros ruídos são diluídos pela distância e tamanho da área ocupada pela mineração, podendo ser atenuados com a plantação de uma cortina vegetal.

As oficinas, os locais de abastecimento de combustível e lavagem de veículos e máquinas são importantes focos de poluição hídrica por óleos e graxas, devido à falta de sistemas eficientes de controle como caixas decantadoras, fato que ocorre na maioria das áreas visitadas. Também é comum o abandono de equipamentos fora de uso (sucatas) em locais inadequados.

A disposição inadequada do estéril e dos finos resultantes da britagem ocasiona o assoreamento das drenagens pelo material erodido que é carreado dos taludes.

Outro problema observado é o aparecimento de áreas de riscos, geradas pela instabilidade das encostas, que pode provocar movimentos de massa, quedas de blocos e

fluxos compostos de solo e rocha, acarretados pelo emprego de métodos de lavra inadequados, com bancada única e plano de fogo mal elaborado ou inexistente (Figura 2.40 e 2.41).

Para diminuir os níveis de poeira na frente de lavra e no beneficiamento a maioria das pedreiras que possuem unidades de britagem tem instalado, como inibidores de poeira, sistema de aspersores nos britadores e no alimentador vibratório, além de carros pipa molhando as vias de acesso (Figura 2.42).

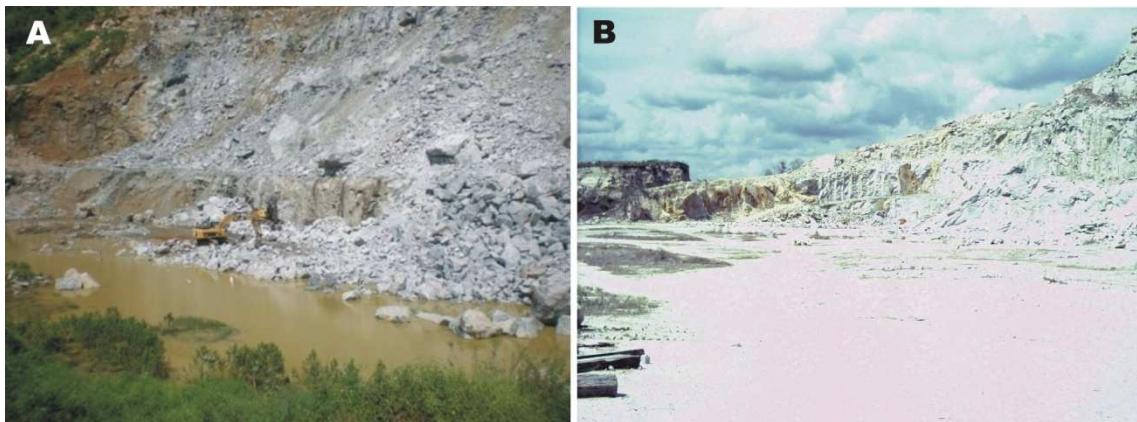


Figura 2.40 – Frente de lavra de pedreiras localizadas em Caucaia (A) e Itaitinga (B), mostrando o desmoronamento de blocos provocado pelo planejamento inadequado do desmonte.



Figura 2.41 – Exemplos de lavra mal planejada em pedreiras localizadas nos municípios de Itaitinga (A) e Maracanaú (B).



Figura 2.42 – Exemplos de inibidores de poeira usados em pedreiras da RMF: sistema de chuveiros nos britadores no município de Itaitinga (A) e carro pipa molhando as vias de acesso no município de Pacatuba (B).

Todas as pedreiras com unidades de britagem possuem plano de fogo, mas somente uma parte delas realiza monitoramento sismográfico do desmonte para a determinação dos níveis de ruído (pressão acústica) e vibração no solo. Apenas uma empresa informou que realiza anualmente monitoramento dos níveis de poeira.

3 – AREIA

3.1 – GENERALIDADES

Areias são sedimentos clásticos inconsolidados formados por fragmentos de rochas preexistentes, com grãos com dimensões que variam entre 0,06 e 2,00mm (ABNT). Os grãos frequentemente são de quartzo, mas também podem conter outros minerais. Os processos de fragmentação e transporte do sedimento podem estar relacionados a meio aquoso ou eólico, sendo as características físicas dos grãos, como tamanho, arredondamento e esfericidade relacionados ao meio no qual as partículas foram transportadas e a distância percorrida.

Segundo a NBR 6502 as areias são classificadas de acordo com o diâmetro em: areia fina (0,06 a 0,2 mm), areia média (0,2 a 0,6 mm) e areia grossa (0,6 a 2,0 mm). Na escala granulométrica da ASTM, as areais apresentam dimensões variando de 0,075 a 4,75 mm, sendo classificadas pelo diâmetro em: areia fina (0,075 a 0,42 mm), areia média (0,42 a 2,0 mm) e areia grossa (2,0 a 4,75 mm)(Soares *et al*, 2006).

As areias podem apresentar variadas especificações e usos tais como: na indústria da construção civil como agregado miúdo; moldes de fundição; matéria prima na indústria de transformação (vidros, siderúrgica, abrasivos, cerâmica, química, refratários, cimento e outros); no tratamento de águas e esgotos e como minério portador de minerais pesados de interesse econômico como monazita, ilmenita, ouro, diamante, cassiterita e outros.

Os agregados miúdos naturais explorados na RMF são as areias finas, associadas aos depósitos terciários de origem fluvial da Formação Barreiras e areias grossas do Quaternário, oriundas de canais e terraços aluviais.

3.2 – LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE EXTRAÇÃO

3.2.1 – Areia Grossa

As extrações de areia grossa na RMF e entorno ocorrem tanto nos canais ativos quanto nas planícies de inundação dos principais rios e afluentes.

Atualmente, os principais depósitos em produção estão associados aos rios Choró, Curu, Pacoti, Siriema, Canindé e Capitão Mor, distribuídos nos municípios de Chorozinho, Barreira, Aracoiaba, São Luiz do Curu, Paraipaba, Paracuru, São Gonçalo do Amarante, Aquiraz, Caridade, Canindé, Paramoti e Pentecoste. Entre os principais municípios produtores de areia grossa somente Chorozinho e Aquiraz estão localizados dentro da RMF.

Os depósitos são formados, em geral, por areias predominantemente médias a grossas, de coloração clara, com níveis de argila e cascalhos subordinados. Quando explorada nos terraços aluviais, ocorre subjacente a uma camada de argila com espessura média de 1,50 metros, que também é explorada para fabricação de cerâmica vermelha.

Como pode ser visualizado no mapa da figura 3.1, os maiores polos de extração de areia grossa, todos localizados no entorno da RMF, são: Rio Choró, nos municípios de Chorozinho, Barreira e Aracoiaba; Rios Siriema, Canindé e Capitão Mor, nos municípios de Caridade, Canindé e Paramoti; Rio Curu, nos municípios de Paraipaba, Paracuru, São Luiz do Curu e São Gonçalo do Amarante.

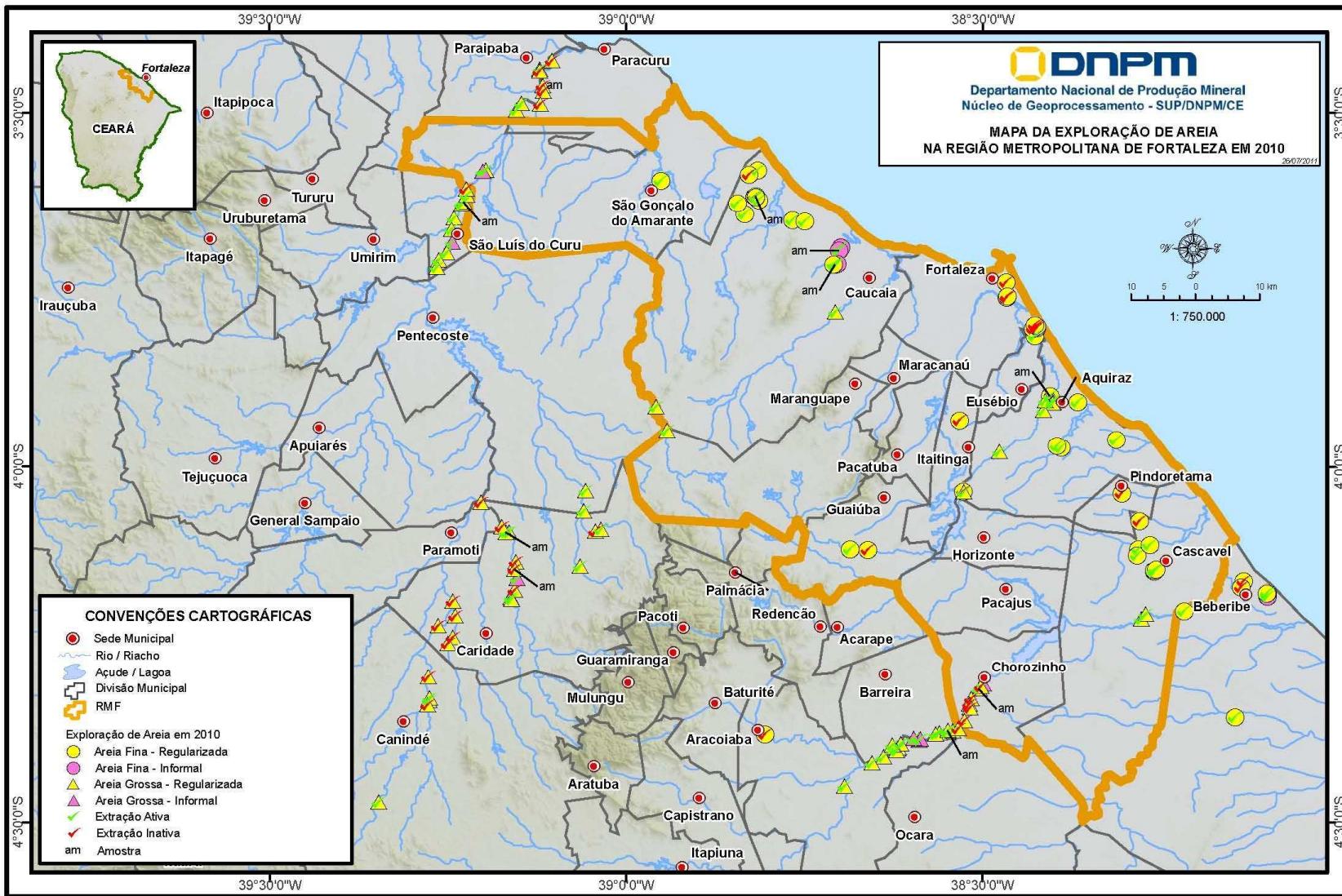


Figura 3.1 - Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza e entorno com a indicação das áreas produtoras de areia em 2010.

Analisando o mapa da figura 3.2, que mostra a situação da exploração de areia em 1996, quando da realização do Plano Diretor de Mineração da RMF (Brasil, 1998), observa-se que, ao contrário da situação em 2010, praticamente toda a areia grossa consumida na RMF era extraída em seu interior. Os principais polos de exploração de areia grossa em 1996 eram: Rio São Gonçalo, municípios de Caucaia e Maranguape; Rio Pacoti, nos municípios de Aquiraz e Itaitinga; Rio Ceará, no município de Caucaia; e o Rio Choró, no município de Chorozinho, à época fora da RMF, em que a extração de areia estava iniciando.

Tanto a ocupação urbana desordenada quanto as restrições ambientais crescentes e a exaustão das reservas fizeram com que a exploração de areia grossa migrasse para fora da RMF, ocasionando, assim, um maior custo no transporte desse insumo.

3.2.2 – Areia Fina

Os depósitos de areia fina explorados na RMF estão relacionados aos sedimentos terciários da Formação Barreiras, que molda os tabuleiros pré-litorâneos que se distribuem ao longo de toda a região costeira do Estado do Ceará.

Os sedimentos da Formação Barreiras apresentam granulometria variando de areia média a fina, com presença de níveis arenoso-argilosos e conglomeráticos e tons avermelhados, creme a esbranquiçados. Na RMF, a associação faciológica sugere a deposição em um sistema fluvial tipo meandrante, em que a textura predominantemente fina, variando de arenitos finos a lamitos, pode ser relacionada a depósitos de planície de inundação. Estes depósitos estão associados à porção mais distal da sedimentação fluvial da Formação Barreiras, ocorrendo, geralmente, sobrepostos por depósitos de paleodunas e dunas.

Como pode ser observado no mapa da figura 3.1, os principais polos de exploração de areia fina em 2010 estão localizados a leste de Fortaleza, municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante e oeste de Fortaleza, municípios de Aquiraz, Pindoretama, Cascavel e Beberibe.

O mapa da figura 3.2 mostra que os principais polos de exploração de areia fina em 1996 eram os municípios de Caucaia, Fortaleza, Eusébio e Aquiraz. A areia em exploração é denominada “areia vermelha”, que ocorre sotoposta a paleodunas e dunas, sendo que os principais locais de extração, em Caucaia (Pirapora e Iparana), Fortaleza (Sabiaguaba, Abreulândia, Gereberaba, Precabura, Cofeco e Cidade 2000) e Eusébio (Mangabeira) foram, paulatinamente, sendo abandonados, estando hoje praticamente inativa a extração nestas áreas.

Atualmente, a “areia vermelha” ainda é utilizada na fabricação de argamassas, mas cresceu muito a utilização do “arisco”, composto de areias menos argilosas, mal selecionadas, de coloração creme a esbranquiçadas, que ocorrem mais distantes da costa, fora da região de domínio das dunas e paleodunas.

A diminuição do uso da “areia vermelha” e a paralisação da extração nas principais áreas produtoras foram provocadas pela ocupação urbana, por trata-se de áreas litorâneas com interesse turístico houve um incremento da especulação imobiliária na região, além das crescentes restrições ambientais e da piora na qualidade do material, devido ao aprofundamento das cavas e o consequente aumento dos teores de argila.

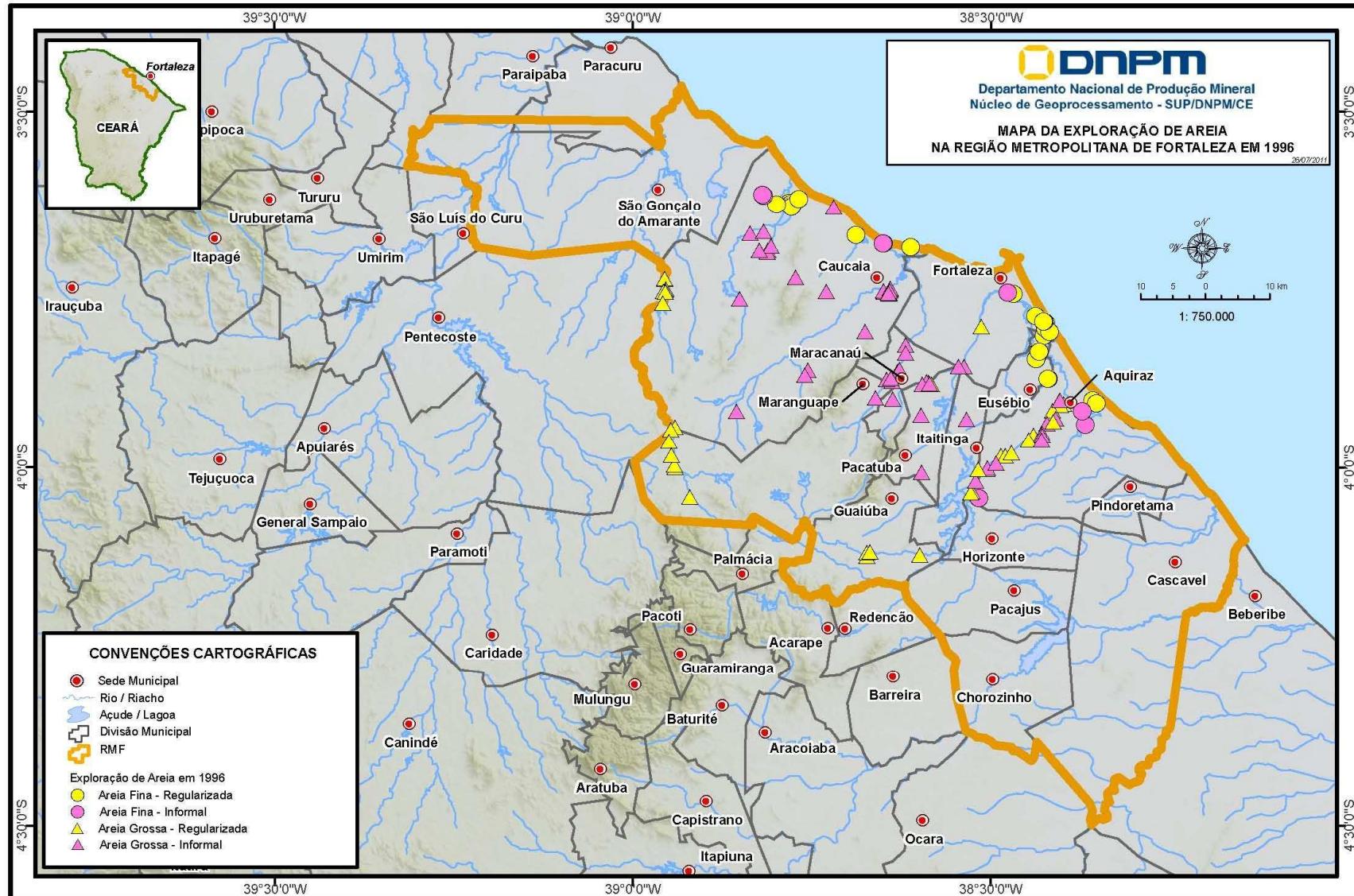


Figura 3.2 - Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza e entorno com a indicação das áreas produtoras de areia em 1996.

3.3 - RECURSOS E RESERVAS

As áreas com potencial para produção de areia na RMF são:

- para areia grossa, os depósitos quaternários relacionados aos principais rios e seus afluentes, ou seja, rios Choró, Pacoti, Curu, Siriema, Canindé e Capitão Mor, entre outros, como pode ser observado no mapa geológica da figura 2.2.

- para areia fina, a área de ocorrência dos depósitos terciários da Formação Barreiras, que moldam os tabuleiros pré-litorâneos distribuídos ao longo da zona costeira da RMF, sobrepostos aos terrenos cristalinos e subjacentes aos depósitos de paleodunas e dunas (Figura 2.2).

A maioria das áreas de areia em exploração na RMF e entorno está regularizada sob regime de licenciamento, o que torna os dados oficiais de reservas pouco significativos em relação aos dados reais. Na tabela 3.1 são apresentadas as reservas medidas de areia na RMF.

Município	Unidade litológica	Número de áreas	Reserva medida (t)
Aracoiaba	Depósitos aluvionares (Q2a)	1	40.000
Barreira	Depósitos aluvionares (Q2a)	1	496.275
Caridade	Depósitos aluvionares (Q2a)	1	469.371
Chorozinho	Depósitos aluvionares (Q2a)	8	984.565
Eusébio	Formação Barreiras (ENb)	1	1.522.000
Fortaleza	Formação Barreiras (ENb)	1	566.400
Paracuru	Depósitos aluvionares (Q2a)	10	551.307
São Gonçalo do Amarante	Depósitos aluvionares (Q2a)	2	2.400.000
TOTAL		25	7.029.918

Tabela 3.1 – Reservas medidas de areia nos municípios da RMF e entorno – Ano Base 2009. Fonte: Anuário Mineral Brasileiro (DNPM).

3.4 – UTILIZAÇÃO

A areia pode ser usada como agregado miúdo na indústria da construção civil na fabricação do concreto, das argamassas de assentamento e revestimento, na pavimentação asfáltica, em filtros, como lastro e na permeabilização de vias e pátios.

Na fabricação do concreto, na pavimentação e em filtros, as propriedades e solicitações a que são submetidos os agregados já foram abordados no capítulo 2.

As argamassas à base de cimento são materiais que utilizam como principal aglomerante o cimento *Portland*, além de areia (agregado), água e, em alguns casos, cal hidratada e aditivos. A areia representa o esqueleto indefomável da argamassa e propriedades como granulometria, distribuição granulométrica, formato de grãos, quantidade de matéria orgânica e tipo de material interferem diretamente nas propriedades da argamassa.

De modo geral, as argamassas são classificadas segundo as suas funções em:

- argamassa de aderência ou chapisco, é usada para aumentar as condições de aspereza de superfícies muito finas;

- argamassa de assentamento, que tem como finalidade unir elementos de construção;

- argamassa de regularização ou emboço, que tem como finalidade regularizar superfícies, evitando infiltração e penetração de água sem impedir ação capilar, que transporta a umidade do interior para o exterior;

- argamassa de acabamento ou reboco, que tem a finalidade de servir de acabamento ou suporte para pintura, devendo por isso ser perfeitamente regular (Carasek, 2005).

As propriedades de uma boa argamassa são a resistência mecânica, a compacidade, a impermeabilidade, a aderência, a constância de volume e a durabilidade, sendo que a maior ou menor importância de cada depende da finalidade da argamassa.

As características dos agregados miúdos exigidas para concreto estrutural e argamassas são diferentes, pois enquanto exige-se basicamente dos agregados para concreto estrutural que contribuam para a maximização da resistência mecânica do concreto, dos agregados para argamassas de assentamento exige-se que eles contribuam para maximizar outras propriedades, pois a resistência mecânica da argamassa tem uma importância secundária (Sabbatini, 1986).

Os agregados miúdos nas argamassas desempenham função econômica e tecnológica. Como são materiais de menor preço que os aglomerantes, contribuem para diminuir o custo das argamassas e tecnologicamente, eles podem contribuir para otimizar as propriedades das argamassas, a durabilidade e a textura final dos revestimentos.

Nos casos em que os agregados apresentam granulometria inadequada ou má qualidade, contendo impurezas, isto pode prejudicar o desempenho das argamassas, alterando suas propriedades ou provocando manifestações patológicas nos revestimentos.

3.5 - CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

As areias naturais utilizadas como agregado miúdo na construção civil na RMF dividem-se em areia fina e areia grossa e são caracterizadas cada uma para seu principal uso, respectivamente, na fabricação de argamassas e concretos.

A tabela 2.4 apresenta as normas que devem ser atendidas para qualificação dos agregados miúdos e graúdos e as especificações para usos em concreto, pavimentos e lastro de ferrovias. Não há norma brasileira que especifique os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos destinados a fabricação de argamassas. Para a qualificação do agregado miúdo para argamassas utilizam-se as mesmas normas prescritas para a avaliação das propriedades dos agregados para concreto e quanto às especificações, quando couber, podem ser utilizadas normas internacionais.

Com o objetivo de caracterizar a areia utilizada na RMF e verificar se ela atende as normas da ABNT adotadas para qualificação do agregado miúdo, foram realizados os seguintes ensaios, com base no exigido na NBR 7211 (agregados para concreto - Especificação): Determinação da composição granulométrica (NBR NM 248); Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218); Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente (NBR NM 52); Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 :m, por lavagem (NBR NM 46); Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas (NBR NM 49) e Agregados para concreto- Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis (NBR 9917). A utilização da NBR 7211 decorre do principal uso desse bem mineral na RMF ser como agregado miúdo na produção de concreto e não haver normatização brasileira definindo as especificações do agregado miúdo para produção de argamassas.

A amostragem foi realizada, com base na NBR NM 26 (Agregados - Amostragem), em 10 áreas em produção na RMF, assim distribuídas: 6 (seis) amostras de areia grossa nos municípios de Chorozinho (rio Choró), Barreiras (rio Choró), Paramoti (rio Siriema), Caridade (rio Siriema), Paracuru (rio Curu) e São Luiz do Curu (rio Curu); e 4 (quatro) amostras de areia fina nos municípios de Caucaia (3 amostras) e Aquiraz (1 amostra).

3.5.1 – Areia Grossa

3.5.1.1 – Granulometria

O termo “areia grossa” é utilizado por ser consagrado na indústria da construção civil e refere-se à areia natural extraída nos canais ativos e nos terraços aluviais dos rios, utilizadas como agregado miúdo na fabricação de concreto na RMF. Em algumas situações, dependendo da classificação adotada estas areias podem ser classificadas como areia média. Na tabela 3.2 é apresentada uma classificação de areia não normatizada, muito utilizada na bibliografia, com base no módulo de finura (MF).

Areia	Módulo de finura (MF)
Grossa	MF > 3,00
Média	3,00 >= MF >= 2,00
Fina	MF < 2,00

Tabela 3.2 – Classificação das areias conforme o módulo de finura (IPT, 1982).

Em todas as amostras de areia usadas como agregado miúdo na fabricação do concreto na RMF foi realizada a determinação da composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248. Além da curva de composição granulométrica são também definidos, no ensaio de granulometria, o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado.

Na tabela 3.3 são apresentados os resultados de ensaios de granulometria de amostras de areia grossa comercializadas na RMF, para as quais foram traçadas curvas granulométricas e calculados módulos de finura e dimensão máxima característica.

Peneira (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada							
	Zona Ótima	Zona Utilizável	Chorozinho Rio Choró	Barreiras Rio Choró	Paramoti R. Siriema	Caridade R. Siriema	Paracuru Rio Curu	S.L. Curu Rio Curu
0,15	90 - 95	85 - 100	94	96	94	96	99	99
0,3	65 - 85	50 - 95	61	75	70	84	88	88
0,6	35 - 55	15 - 70	18	36	42	45	43	51
1,2	20 - 30	5 - 50	6	13	19	8	8	14
2,4	10-20	0 - 25	2	5	8	2	2	4
4,8	0 - 5	0 - 10	0	3	3	0	1	1
6,3	0 - 0	0 - 7		2	2			0
9,5	0 - 0	0 - 0		0	1			
MF ¹	2,2-2,9	1,55 -3,50	1,81	2,28	2,37	2,35	2,41	2,59
Dmax ²	4,8	6,3	2,4	4,8	4,8	2,4	2,4	2,4

(1) MF significa módulo de finura (NBR NM 248).

(2) Dmax significa dimensão máxima característica (NBR NM 248).

Tabela 3.3 - Resultados de ensaios de granulometria em amostras de areia grossa coletadas em áreas em exploração na RMF, comparados aos limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo, definidos na NBR 7211:2009.

Nas figuras 3.3 e 3.4 são apresentados gráficos com a distribuição granulométrica de amostras de agregado miúdo coletadas nas principais áreas de extração na RMF em 2010. Na figura 3.3 observa-se que nenhuma das amostras enquadra-se totalmente nos limites da zona ótima definida na NBR 7211:2009. No entanto, na figura 3.4 observa-se que todas as amostras estão enquadradas nos limites da zona utilizável também definida na NBR 7211:2009.

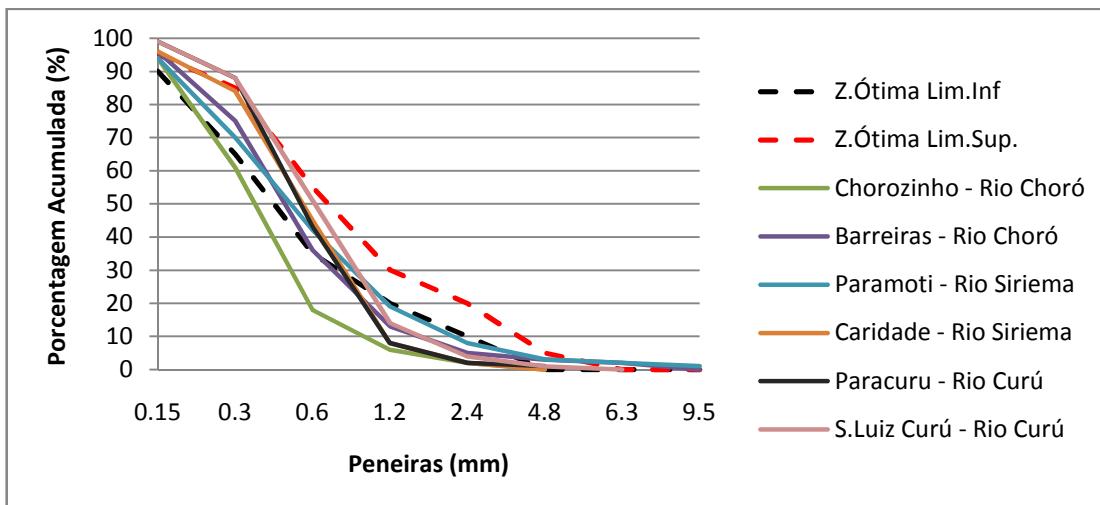


Figura 3.3 - Curvas granulométricas do agregado miúdo de amostras coletadas na RMF, incluindo os limites da zona ótima definida na NBR 7211:2009.

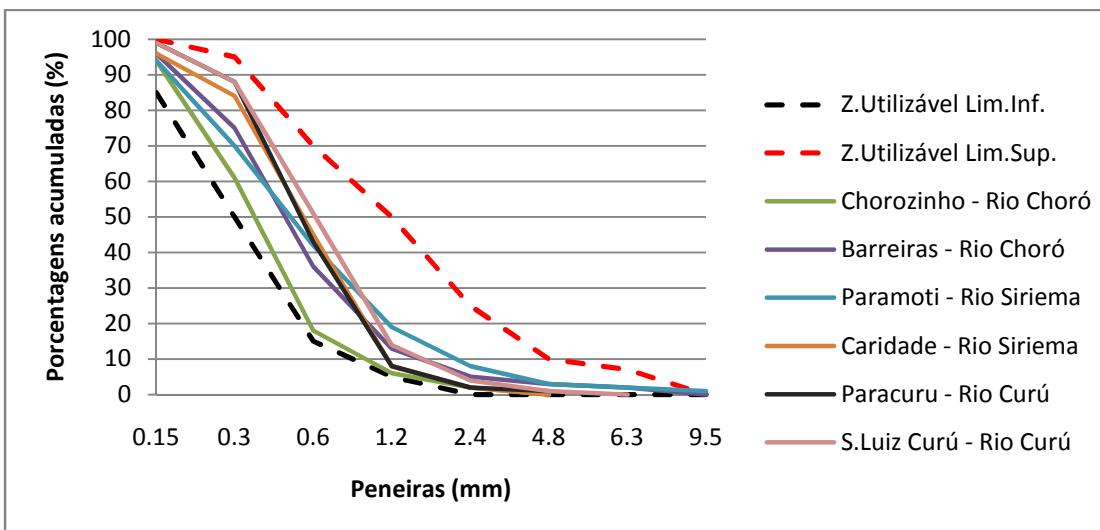


Figura 3.4 - Curvas granulométricas do agregado miúdo de amostras coletadas na RMF, incluindo os limites da zona utilizável definida na NBR 7211:2009.

Em 1996, durante a realização do Plano Diretor de Mineração da RMF (Brasil, 1998) foram coletadas e analisadas amostras de areia grossa utilizada como agregado miúdo na fabricação do concreto, cujas curvas granulométricas são apresentadas nas figuras 3.5 e 3.6, comparadas as zonas ótima e utilizável definidas na NBR 7211:2009.

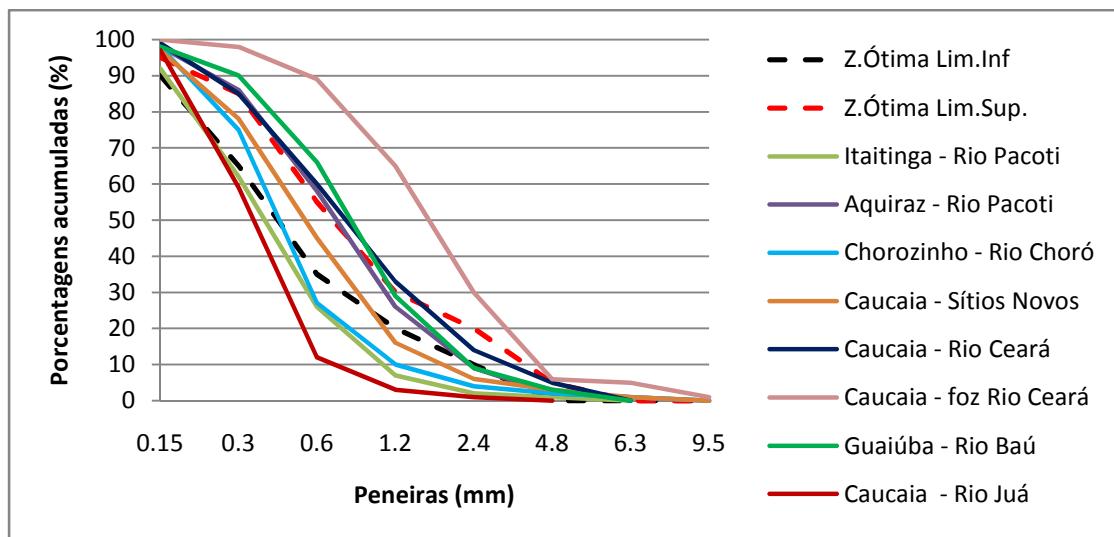


Figura 3.5 - Curvas granulométricas de areia grossa utilizada como agregado miúdo na RMF em 1996, incluindo os limites da zona ótima, definida na NBR 7211:2009.

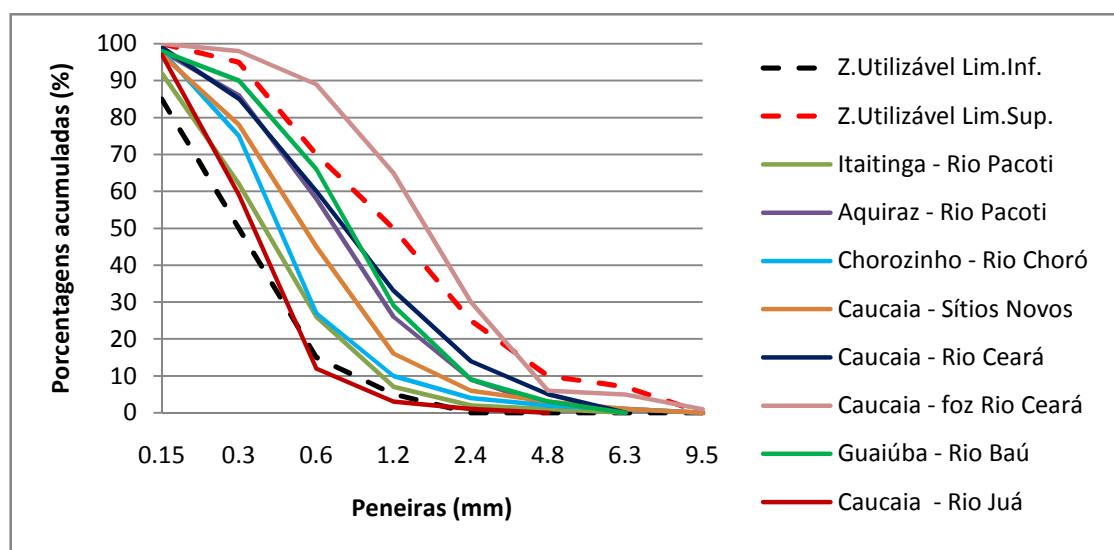


Figura 3.6 - Curvas granulométricas de areia grossa utilizada como agregado miúdo na RMF em 1996, incluindo os limites da zona utilizável, definida na NBR 7211:2009.

Comparando as curvas granulométricas das amostras de areia grossa consumida na RMF em 1996 (figuras 3.5 e 3.6) e 2010 (figuras 3.3 e 3.4), observa-se que a distribuição granulométrica das areias consumidas atualmente atende melhor aos limites estabelecidos na NBR 7211:2009.

3.5.1.2 - Massa específica real e aparente

A massa específica é a relação entre a massa e o volume de cheios, ou seja, o volume de grãos do agregado. Trata-se de um dado importante para o cálculo do consumo de agregado por metro cúbico de concreto.

A massa específica aparente ou massa unitária é definida como a relação entre a massa de certo volume total de agregado e este volume. A importância de se conhecer o valor da massa unitária do agregado deve-se ao fato de ser por meio dela que se fazem as transformações dos traços em massa para volume e vice-versa.

A determinação da massa específica e da massa específica aparente do agregado miúdo é realizada com base na NBR NM 52.

Os resultados dos ensaios realizados em amostras de areia grossa utilizada como agregado miúdo na RMF são apresentados na tabela 3.4.

	Chorozinho Rio Choró	Barreiras Rio Choró	Paramoti Rio Siriema	Caridade Rio Siriema	Paracuru Rio Curu	S.L. Curu Rio Curu
Massa unitária (g/dm ³)	1,43	1,48	1,48	1,44	1,42	1,38
Massa específica (g/dm ³)	2,62	2,63	2,62	2,62	2,62	2,60
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	0,20	0,10	0,40	0,10	0,05	0,03
Material fino que passa na peneira 75:m (%)	2,00	0,90	3,80	1,10	2,10	0,40
Avaliação de impurezas orgânicas	Satisf.	Satisf.	Satisf.	Satisf.	Satisf.	Satisf.
Sais solúveis (%)	0,03	0,10	0,05	0,05	0,06	0,01
Sulfatos solúveis (%)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto (Cl ⁻) - %	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Tabela 3.4 – Resultados de ensaios para caracterização do agregado miúdo utilizado na fabricação do concreto na RMF.

3.5.1.3 – Substâncias nocivas

As areias naturais utilizadas como agregado miúdo estão, geralmente, contaminados com impurezas que podem interferir química ou fisicamente nas propriedades do concreto, ou seja: torrões de argila e materiais friáveis; material pulverulento; materiais carbonosos e impurezas orgânicas.

A tabela 3.5 apresenta os limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo para uso em concreto, de acordo com a NBR 7211:2009.

Todas as amostras de areia grossa apresentaram teores de argila em torrões e materiais friáveis (tabela 3.4) inferiores a 0,5 %, muito abaixo do limite estipulado na NBR 7211:2009 (tabela 3.5).

Com relação ao percentual de material fino que passa através da peneira 75:m por lavagem (tabela 3.4), apenas a amostra coletada no rio Siriema, município de Paramoti, apresentou quantidade em massa superior ao limite de 3 % para utilização em concreto aparente. Todas as outras amostras apresentaram resultados dentro dos limites máximos estabelecidos na NBR 7211 (tabela 3.5).

O resultado do ensaio de determinação de impurezas orgânicas foi considerado satisfatório para todas as amostras de areia analisadas (tabela 3.4).

A tabela 3.6 mostra os resultados dos ensaios para determinação da quantidade de substâncias nocivas realizadas em amostras de agregado miúdo utilizado na RMF em 1996, durante a execução do Plano Diretor de Mineração para a RMF. Com relação às quantidades de argila em torrões e material pulverulento, apenas uma amostra coletada no rio Pacoti,

município de Itaitinga, apresentou quantidade em massa superior ao limite de 3 % para utilização em concreto aparente (tabela 3.5). Quanto ao ensaio de determinação de impurezas orgânicas, três das amostras analisadas obtiveram resultados insatisfatórios.

Determinação	Método do ensaio		Quantidade Máxima relativa à massa do agregado miúdo (%)
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos ¹	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75:m por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concreto protegido do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas ²	ABNT NBR NM 49		A solução deve ser mais clara do que a solução-padrão

- (1) Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos.
- (2) Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na NBR 7221.

Tabela 3.5 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material para utilização na fabricação do concreto, de acordo com a NBR 7211:2009.

	Itaitinga Rio Pacoti	Aquiraz Rio Pacoti	Chorozinho Rio Choró	Caucaia Sítios Novos	Caucaia Rio Ceará	Caucaia Rio Ceará (foz)	Guaiúba Rio Baú	Caucaia Rio Juá
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	0,71	1,60	0,10	0,30	0,10	0,17	0,20	0,60
Teor de material pulverulento (%)	4,60	2,90	1,00	0,60	2,40	1,00	2,00	0,80
Avaliação de impurezas orgânicas	Satisf.	Insatisf.	Satisf.	Satisf.	Satisf.	Insatisf.	Insatisf.	Satisf.

Tabela 3.6 – Resultados de ensaios para caracterização da areia grossa utilizada como agregado miúdo na RMF em 1996.

Com base nos resultados apresentados, ressalvando o universo amostrado, conclui-se que o agregado miúdo utilizado em 2010 para fabricação do concreto tem qualidade um pouco superior aquele usado em 1996.

3.5.1.4 – Durabilidade

De acordo com a NBR 7211:2009, em agregados provenientes de regiões litorâneas ou extraídos de águas salobras ou ainda quando houver suspeita de contaminação natural (regiões onde ocorre gipsita, por exemplo) ou industrial (água do lençol freático contaminada por efluentes industriais), os teores de cloretos e sulfatos não devem exceder os limites estabelecidos na tabela 3.7.

Os resultados dos ensaios realizados para determinação dos teores de cloretos e sulfatos, realizados com base na NBR 9917, os agregados miúdos da RMF (Tabela 3.4) apresentaram valores bem abaixo dos limites prescritos na NBR 7211 (Tabela 3.7).

Determinação	Método do ensaio	Limites
Teor de cloreto (Cl ⁻)	ABNT NBR 9917	< 0,2 % concreto simples
		< 0,1 % concreto armado
		< 0,01 % concreto protendido
Teor de sulfatos (SO ₄ ²⁻)	ABNT NBR 9917	< 0,1 %

Tabela 3.7 – Limites máximos dos teores de cloreto e sulfato para utilização como agregado miúdo na fabricação do concreto, conforme a NBR 7211:2009.

3.5.2 – Areia Fina

3.5.2.1 – Granulometria

Em todas as amostras de areia fina foi realizada a determinação da composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248. Além da curva de composição granulométrica são também definidos, no ensaio de granulometria, o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado.

Não há norma brasileira que determine a distribuição granulométrica mais adequada para o agregado miúdo utilizado em argamassas de assentamento e revestimento. No caso das areias empregadas na fabricação de argamassas de assentamento podem ser utilizadas as faixas granulométricas recomendadas nas normas americana ASTM C-144 e inglesa BS-1200 (Tabela 3.8).

Peneira (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada					
	ASTM C-144	BS-1200	Caucaia (1)	Pecém	Caucaia (2)	Aquiraz
0,15	85 - 98	90 - 100	92	94	77	97
0,3	65 - 90	60 - 95	68	62	54	61
0,6	25 - 60	20 - 60	40	7	29	3
1,2	0 - 30	0 - 30	17	1	8	1
2,4	0 - 5	0 - 10	4	0	1	0
4,8			0		0	
MF ¹			2,21	1,64	1,69	1,62
Dmax ²			2,4	1,2	2,4	0,6

(1) MF significa módulo de finura (NBR NM 248:2001).

(2) Dmax significa dimensão máxima característica (NBR NM 248:2001).

Tabela 3.8 - Resultados de ensaios de granulometria em amostras de areia fina coletadas em áreas em exploração na RMF e faixas granulométricas recomendadas nas normas ASTM C-144 e BS-1200.

Nas figuras 3.7 e 3.8 são apresentados gráficos com a distribuição granulométrica de amostras de areia fina coletadas nas principais áreas de extração na RMF em 2010, incluindo os limites recomendados nas normas ASTM C-144 e BS-1200. As amostras de areia vermelha coletadas em Pecém e Aquiraz não atendem a nenhuma destas duas normas. Quanto às amostras de “arisco”, coletadas em duas áreas de extração no município de Caucaia (1 e 2), uma ficou totalmente inserida nas faixas granulométricas recomendadas e a outra parcialmente.

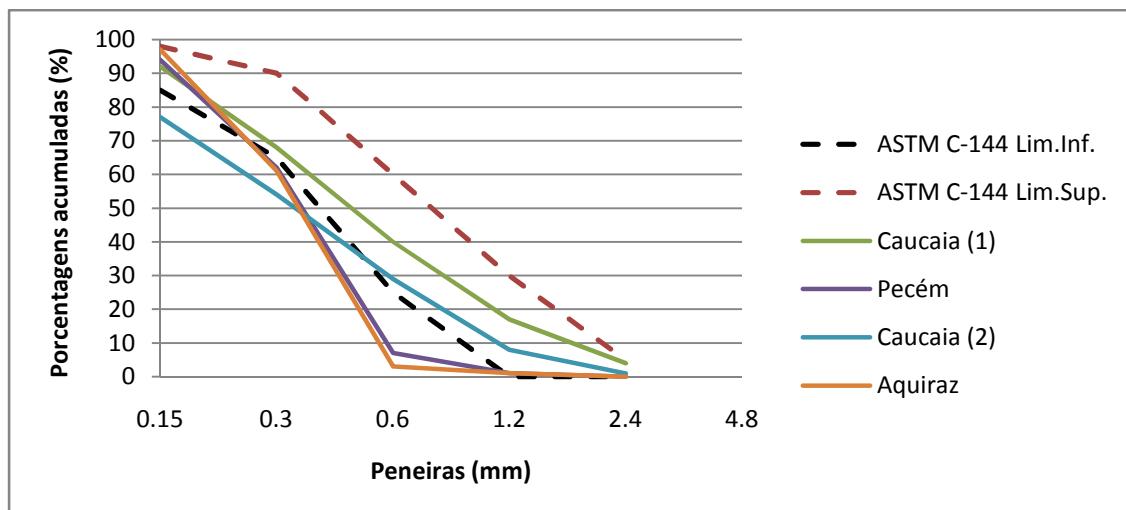


Figura 3.7 - Curvas granulométricas de amostras de areia fina coletadas na RMF, incluindo os limites recomendados pela ASTM C-144 para a distribuição granulométrica do agregado miúdo para uso na fabricação de argamassas de assentamento.

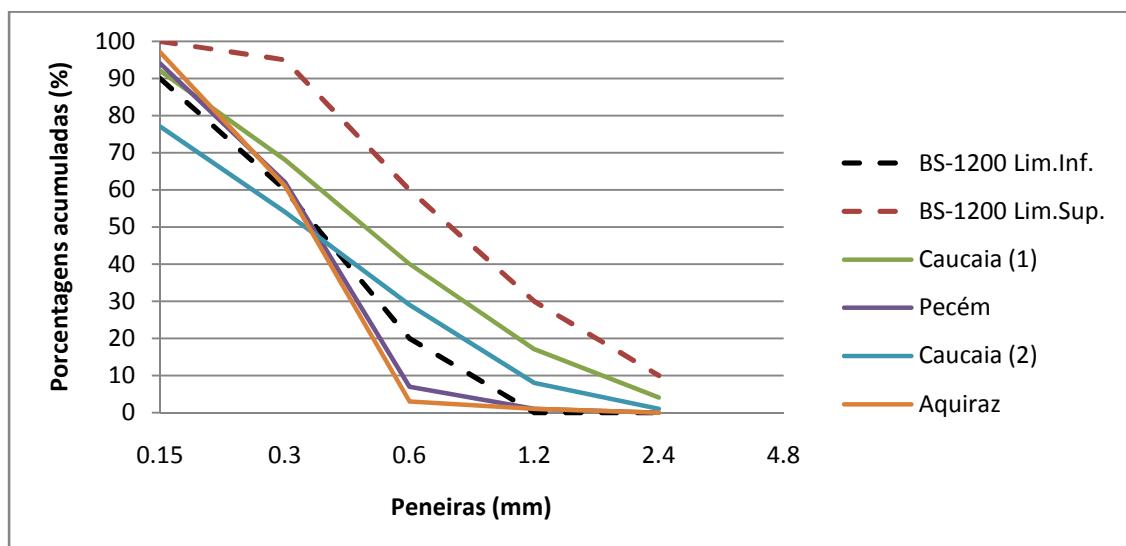


Figura 3.8 - Curvas granulométricas de amostras de areia fina coletadas na RMF, incluindo os limites recomendados pela BS-1200 para a distribuição granulométrica do agregado miúdo para uso na fabricação de argamassas de assentamento.

Comparando as curvas granulométricas das amostras de areia fina consumida na RMF em 1996 (figuras 3.9) e 2010 (figuras 3.7), observa-se que a distribuição granulométrica das amostras de areia consumida em 1996, todas classificadas como “areia vermelha” são semelhantes àquelas amostras coletadas em Pecém e Aquiraz, em 2010, o que confirma que se trata do material denominado de “areia vermelha”.

Os agregados miúdos para argamassas de revestimento devem ser constituídos por grãos minerais, de origem natural ou artificial, que passam pela peneira ABNT 4,8mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075mm. Quanto maior o módulo de finura do agregado, maior é a fração grossa e mais áspera é a textura que pode conferir aos revestimentos de argamassa. Com base nisso, as areias grossas são indicadas para chapisco, as areias médias para emboço e as areias finas para reboco. A mistura de areia média e fina pode resultar em uma granulometria própria para “massa única” (Selmo, 1986).

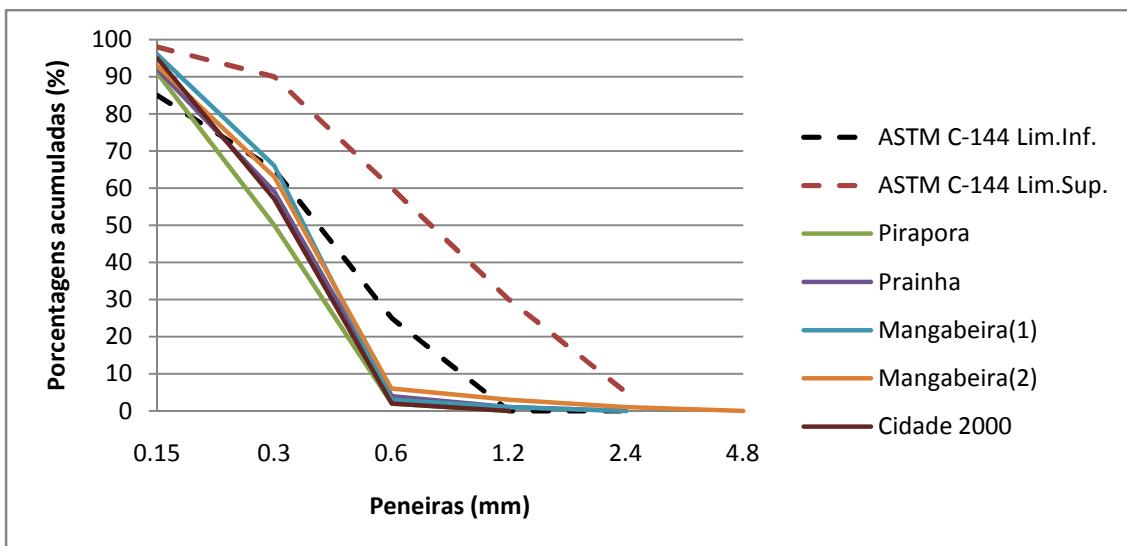


Figura 3.9 - Curvas granulométricas de amostras de areia vermelha (fina) utilizadas na RMF em 1996, incluindo os limites recomendados pela ASTM C-144.

Das amostras analisadas somente uma de “arisco” coletada no município de Caucaia é classificada como areia média baseado na tabela 3.2, todas as outras são consideradas como areia fina.

Com base na classificação das areias da tabela 3.2, que é baseada no módulo de finura, observa-se que as areias denominadas de “areia grossa” (3.5.1), tanto podem ser utilizadas na fabricação do concreto quanto nas argamassas de revestimento.

Para utilização em argamassas de revestimento, a norma ASTM C-897 não recomenda agregados miúdos com mais de 25%, em peso, de material retido entre as peneiras de abertura 0,30 e 0,15 mm. Das amostras de “areia fina” analisadas, aquelas classificadas como “areia vermelha” não atendem a esta recomendação, enquanto que as amostras de “arisco” estão de acordo com a prescrição da norma ASTM C-897. Com relação às amostras de “areia grossa” (item 3.5.1), a maioria atende a recomendação da norma ASTM C-897 e poderia ser utilizada como argamassa de revestimento.

Outra recomendação é que os agregados a serem utilizados para argamassa de revestimento devem ter granulometria contínua, principalmente para emboço. A norma ASTM C-897 prescreve que o agregado miúdo não tenha mais de 50%, em peso, retido entre duas peneiras consecutivas.

3.5.2.2 – Substâncias nocivas

A presença de finos na areia utilizada para fabricação de argamassas de assentamento ainda é uma questão controversa. As normas ASTM C-144 e BS-1200 limitam seu teor em no máximo 5%, em massa, de argila e/ou silte. Rensburg *et al* (1978 *apud* Sabbatini, 1986) concluíram que teores excessivos, superiores a 20%, de finos na areia reduzem em muito a capacidade de aderência das argamassas.

A experiência prática no Brasil comprova que as argamassas fabricadas com areias argilosas apresentam melhor trabalhabilidade e melhor resiliência, podendo a capacidade de aderência e a resistência serem prejudicadas em função do teor e da natureza dos finos. Nas argamassas de assentamento devem ser utilizadas areias com valores adequados, e não máximos, de capacidade de aderência e resistência, implicando na necessidade de realizar

ensaios na areia argilosa para que seja comprovada sua adequabilidade segundo critérios de desempenho e não a limitação de um teor máximo de material fino (Sabbatini, 1986).

Como pode ser verificado nas tabelas 3.9 e 3.10, tanto as areias finas em uso quanto aquelas que eram utilizadas em 1996 na RMF como agregado em argamassas de assentamento apresentam teores de finos acima dos recomendados nas normas ASTM C-144 e BS-1200.

	Caucaia (1)	Pecém	Caucaia (2)	Aquiraz
Massa Unitária (g/dm ³)	1,46	1,36	1,47	1,30
Massa Específica (g/dm ³)	2,62	2,63	2,55	2,62
Teor de Argila em Torrões (%)	2,40	0,50	3,40	0,30
Material fino que passa na peneira 75:m (%)	12,20	10,40	24,60	7,00
Avaliação de Impurezas Orgânicas	Insatisf.	Insatisf.	Insatisf.	Satisf.
Sais solúveis (%)	0,22	0,37	0,30	0,03
Sulfatos solúveis (%)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto (Cl ⁻) - %	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Tabela 3.9 – Resultados de ensaios para caracterização da areia fina utilizada como agregado miúdo na RMF.

	Pirapora	Prainha	Mangabeira (1)	Mangabeira (2)	Cidade 2000
Massa Específica Real (kg/dm ³)	2,62	2,59	2,60	2,63	2,63
Material fino que passa na peneira 75:m (%)	11,82	16,40	10,18	16,74	10,00
Avaliação de Impurezas Orgânicas	Satisf.	Insatisf.	Satisf.	Satisf.	Insatisf.

Tabela 3.10 – Resultados de ensaios para caracterização da areia fina utilizada como agregado miúdo na RMF em 1996.

Na tabela 3.11 são apresentadas algumas especificações referentes à presença de substâncias nocivas em agregados miúdos usados em argamassas de revestimento.

Determinação	Norma	Limites
Material fino que passa na peneira 75:m (material pulverulento)	ABNT NBR 7200	< 5%
	IPT ES-5	Chapisco < 5% Emboço < 5% Reboco < 8 %
	ASTM C-897	< 3%
Impurezas orgânicas	ABNT NBR NM 49	Método colorimétrico
	IPT ES-5	Método colorimétrico
	ASTM C-897	Método colorimétrico
Argila em torrões e partículas friáveis	IPT ES-5	Chapisco < 3% Emboço < 1% Reboco < 0,5 %
	ASTM C-897	< 1%
Teor de sais solúveis, sulfatos e cloretos	IPT ES-5	Sais solúveis < 0,20% Sulfatos solúveis < 0,05% Cloreto < 0,01%

Tabela 3.11 – Limites máximos de substâncias nocivas normalizadas para agregado miúdo de argamassa de revestimento. Modificado de Selmo (1986).

Todas as especificações da tabela 3.11 fixam o valor máximo de 5% para o teor de material pulverulento e fazem a avaliação de impurezas orgânicas pelo método colorimétrico. Todas as areias analisadas estão acima do limite de 5% e a maioria das amostras avaliadas pelo método colorimétrico foi considerada insatisfatória (Tabela 3.9).

Com relação à presença de torrões de argila e materiais friáveis e sais solúveis (Tabela 3.9), a maioria das amostras de areia utilizada na RMF ficou fora das especificações recomendadas na tabela 3.11.

Outras impurezas também passíveis de controle quando presentes na areia são os materiais carbonosos, as micas e os sulfetos.

De acordo com Selmo (1986), os valores especificados pelas normas para agregados em argamassas de revestimento devem ser utilizados como referência e sempre que o agregado não atender as especificações deverá ser verificada a sua adequabilidade através da confecção de painéis experimentais, para observação visual, bem como deverão ser realizados ensaios de desempenho.

3.6 – PROCESSOS PRODUTIVOS

Atualmente, os municípios da RMF e entorno possuem 23 (vinte e três) concessões de lavra e 98 (noventa e oito) licenciamentos totalizando 121 (cento e vinte e uma) áreas regularizadas para produção de areia, distribuídas conforme a tabela 3.12.

MUNICÍPIO FASE	AREIA GROSSA			AREIA FINA		
	CONCESSÃO DE LAVRA	REGISTRO DE LICENÇA	REQUERIMENTO DE LAVRA	CONCESSÃO DE LAVRA	REGISTRO DE LICENÇA	
AQUIRAZ		8			5	13
ARACOIABA*		2			1	3
BARREIRA*	3	8			6	17
BEBERIBE*						0
CANINDÉ*		5				5
CARIDADE*		18				18
CASCAVEL		2			7	9
CAUCAIA		3			10	13
CHOROZINHO	7		1			8
EUSÉBIO				1		1
FORTALEZA				1	6	7
GUAIÚBA					2	2
ITAITINGA					2	2
PARACURU*	3	4				7
PARAIPABA*		1				1
PENTECOSTE*		1				1
PINDORETAMA					1	1
S.G. AMARANTE		2			3	5
S. LUIZ DO CURU*	8	1	1			10
	21	55	2	2	43	123

(*) Municípios do entorno da RMF.

Tabela 3.12 – Distribuição dos títulos minerários para areia nos municípios da RMF e entorno em dezembro/2010. Fonte: DNPM.

No mapa da figura 3.1 é apresentada a distribuição das áreas em exploração na RMF e entorno em 2010, podendo ser observadas as áreas com extração ativa e inativa.

3.6.1 – Lavra

Na RMF, a areia é extraída dos canais ativos e planícies aluviais quaternários e de depósitos terciários também de origem fluvial, que ocorrem nos tabuleiros pré-litorâneos subjacentes aos depósitos de paleodunas e dunas.

Os trabalhos de pesquisa mineral são inexistentes nas áreas em regime de licenciamento e insuficientes naquelas em regime de concessão de lavra, para a caracterização das reservas, da forma e da composição dos depósitos, bem como inexistem trabalhos de topografia de detalhe em escala compatível com o mapeamento geológico e planejamento da mineração.

Os métodos de extração de areia desenvolvidos na RMF são a dragagem e o desmonte mecânico. Nos leitos ativos dos rios e nas planícies aluviais, a extração tanto pode ser por dragagem quanto por desmonte mecânico, este último utilizado quando os rios secam nos períodos de estiagem. Nos depósitos terciários a extração de areia fina é realizada por desmonte mecânico.

3.6.1.1 – Dragagem

A extração por dragagem no leito ativo ocorre nos rios Pacoti e Choró, municípios de Aquiraz, Chorozinho, Aracoiaba e Barreira. Trata-se de sedimentos ativos de corrente, depositados em pequenas profundidades, que por estarem inconsolidados, não há necessidade de desmonte.

Os depósitos de areia também ocorrem nas planícies aluviais, sendo extraídos por dragagem no rio Pacoti, município de Aquiraz.

Na RMF, a dragagem do material nos leitos ativos é realizada através de um sistema de bombeamento que realiza a sucção da polpa formada no leito submerso, montado em barcaças de ancoragem fixa, sendo o material extraído transportado por tubulação sustentada sobre tambores flutuantes (Figuras 3.10 e 3.11).



Figura 3.10 – Extração de areia por dragagem no leito do rio Choró: A – área no município de Aracoiaba; B – área no município de Barreira.



Figura 3.11 – Extração de areia por dragagem no leito do rio Choró, em duas áreas localizadas no município de Chorozinho.

Nas áreas de várzeas, a extração ocorre em cava, formando uma lagoa fechada, não ligada diretamente aos cursos d’água. Quando o nível do lençol freático é atingido, são introduzidas as dragas de sucção, que conduzem a areia por uma tubulação até os locais de estocagem. Na RMF, neste tipo de extração as bombas podem ser montadas em barcaças ou mesmo fixas nas margens das cavas (Figuras 3.12 e 3.13).



Figura 3.12 – Extração de areia por dragagem em duas áreas localizadas na planície de inundação do rio Pacoti, município de Aquiraz.



Figura 3.13 – Extração de areia por dragagem, com as bombas montadas na margem das cavas, em duas áreas localizadas na planície de inundação do rio Pacoti, município de Aquiraz.

3.6.1.2 – Desmonte mecânico

Na RMF, o desmonte mecânico é realizado nos leitos secos ou parcialmente secos dos rios durante os períodos de estiagem e nas planícies aluviais terciárias, em que são formadas cavas para extração de areia fina.

Este método de lavra é recomendado para depósitos não coesos em locais secos (não inundados) e com boa sustentação para os equipamentos pesados. A extração é realizada através da escavação direta do material inconsolidado com escavadeiras ou páscarregadeiras. O carregamento tanto pode ser direto nos caminhões quanto serem formadas pilhas de estocagem para o carregamento posterior em caminhões e transporte do material para venda.

Na maioria das áreas em operação o desmonte e carregamento é mecanizado, mas em algumas áreas ainda é manual (Figura 3.14).



Figura 3.14 – Extração de areia por desmonte manual no rio Canindé, município de Canindé.

É exemplo desse método a extração de areia grossa nos leitos dos rios Curu, Choró, Siriema e Canindé, nos municípios de São Luiz do Curu, Paracuru, Barreira, Caridade e Canindé (Figuras 3.15, 3.16, 3.17 e 3.18).



Figura 3.15 – Aspecto do leito do rio Siriema, em que é realizada extração de areia grossa por desmonte mecânico. Município de Caridade.



Figura 3.16 – Aspecto do leito do rio Canindé, em que é realizada extração de areia grossa por desmonte mecânico. Município de Canindé.



Figura 3.17 – Aspecto da extração de areia grossa no leito do rio Curu, município de São Luiz do Curu.



Figura 3.18 – Aspecto da extração de areia grossa no leito do rio Choró, município de Barreira.

As extrações de areia vermelha e arisco ao longo dos tabuleiros pré-litorâneos da RMF, também são realizadas pelo método de desmonte mecânico (Figuras 3.19, 3.20, 3.21 e 3.22).



Figura 3.19 – Aspecto das áreas de extração de areia fina (vermelha) por desmonte mecânico: A – área no município de Aquiraz; B - área no município de Caucaia.



Figura 3.20 – Aspecto de áreas de extração de areia fina (vermelha) por desmonte mecânico no município de Caucaia.



Figura 3.21 – Aspecto de áreas de extração de areia fina (arisco) por desmonte mecânico no município de Caucaia.



Figura 3.22 – Aspecto de áreas de extração de areia fina (arisco) por desmonte mecânico no município de Caucaia.

3.6.2 – Beneficiamento

O beneficiamento é realizado para adequar a areia para utilização como agregado miúdo na construção civil. No caso da RMF, em que os depósitos de areia explorados são inconsolidados, o beneficiamento tem por objetivo somente a seleção granulométrica do produto, que deve apresentar 95 %, em massa, entre as peneiras 4,8mm e 75:m.

Na RMF na maioria das áreas de extração, não há nenhum tipo de beneficiamento no local da lavra, sendo o produto da extração carregado nos caminhões sem nenhum tipo de tratamento. Em duas áreas localizadas no rio Choró, municípios de Chorozinho e Barreira, e em uma localizada no rio Pacoti, município de Aquiraz, é realizado beneficiamento no material extraído.

No município de Barreira, em área com extração por desmonte mecânico no leito do rio Choró, é realizado o peneiramento a seco em peneira estática (grelha), objetivando reter as partículas com granulometria maior que 4,8 mm. O rejeito é formado, principalmente por cascalho e restos de matéria orgânica (Figura 3.23).



Figura 3.23 – Peneira estática usada para beneficiamento de areia grossa extraída no leito do rio Choró. Município de Barreira.

No município de Chorozinho, também no rio Choró, em área com extração por dragagem, o beneficiamento é realizado em silo desaguador. Os silos têm a forma cúbica, com fundo em tronco de pirâmide, são em número de cinco, contendo, apoiada nos silos, uma caixa com uma peneira inclinada estática (grelha). O material dragado (mistura água –

sedimento) é transportado por tubulações e passa primeiro pela grelha, que retém as partículas maiores que 4,8mm, seguindo a mistura passante para os silos, onde o desaguamento provoca uma lavagem da areia, com as partículas finas (< 75:m) sendo carreadas junto com a água. A areia é descarregada dos silos direto para os caminhões (Figura 3.24).



Figura 3.24 – Aspecto geral da dragagem, do beneficiamento e detalhe do silo desaguador utilizado em área de extração de areia grossa no rio Choró, município de Chorozinho.

No município de Aquiraz, na planície de inundação do rio Pacoti, em áreas com extração por dragagem, o beneficiamento também é realizado em silo desaguador (Figura 3.25).



Figura 3.24 – Silo desaguador utilizado em área de extração de areia grossa na planície de inundação do rio Pacoti, município de Aquiraz.

3.6.3 - Controle ambiental

A mineração de areia na RMF e entorno está associada aos canais ativos e planícies de inundação dos principais rios e afluentes e aos depósitos arenoso-argilosos que ocorrem associados aos tabuleiros pré-litorâneos.

3.6.3.1 – Extração em leitos ativos

Os principais efeitos das extrações de areia nos canais ativos de rios e riachos são a interferência no leito, nas Áreas de Preservação Permanente (APP) e na vazão dos cursos d’água. Outros impactos são emissão de gases e poeira, geração de ruídos, perturbação da

vizinhança, afugentamento da fauna e poluição hídrica, pelo derramamento de óleos e graxas.

Na RMF e entorno a extração de areia em leito ativo, caso fosse executada de forma planejada, poderia contribuir para o desassoreamento dos rios. No entanto, na maioria das áreas ativas as operações de lavra não são planejadas de forma adequada. Assim, as extrações praticadas, principalmente, nos períodos de estiagem, quando os rios secam ou ficam muito baixos, provocam alterações na morfologia dos canais e na topografia do fundo, ocasionando, nos períodos chuvosos, quando o rio busca retornar ao equilíbrio anterior, intensa erosão das margens e consequente assoreamento.

Outro impacto importante é com relação à abertura de praças e vias de acesso, as quais são construídas paralelas e muito próximas do canal fluvial, ocasionando a supressão da vegetação, inclusive em APP, e a consequente desestabilização das margens, constituindo-se, em algumas situações, em um impacto muito maior do que a extração mineral no canal do rio (Figura 3.25).



Figura 3.25 – Extração de areia grossa em leito ativo, observando-se alterações no canal fluvial e interferências na APP. A – área no município de Aracoiaba; B – área no município de Chorozinho.

As principais medidas de controle ambiental para extração em leito ativo são descritas a seguir:

- planejamento da lavra com a preservação do canal fluvial e evitar a extração próximo as margens, sendo recomendável manter uma faixa de segurança com relação aos diques marginais, interferindo minimamente nas APP. No caso de extração por desmonte mecânico, é recomendável realizar periodicamente a terraplanagem do leito, eliminando-se as descontinuidades topográficas.

- Minimizar impactos na mata ciliar e nas margens dos cursos d'água causados pela abertura de vias de acesso, praças e construção de estruturas de apoio. No caso das estradas de acesso, estas devem ser construídas perpendiculares as margens, sempre que possível.

3.6.3.2– Extração em planícies de inundação

Compreende os depósitos de paleocanais e de terraços aluviais, sendo os principais impactos a supressão de vegetação em APP, com o consequente aumento da erosão das margens, provocando o assoreamento dos rios e aumento da turbidez da água.

Outro impacto é a degradação das áreas após a extração, com a alteração da paisagem, devido à abertura e abandono das cavas sem nenhum trabalho de recuperação (Figura 3.26), ocorrendo, em algumas situações a utilização dessas cavas como depósitos de resíduos (lixo e entulho).



Figura 3.26 – Aspecto da degradação causada pela extração de areia na planície de inundação do rio Pacoti, em que não foram tomadas medidas de controle e reabilitação. Município de Aquiraz.

Também não podem deixar de ser considerados: a interferência no lençol freático, a emissão de gases e poeira, a geração de ruídos, a perturbação da vizinhança, o afugentamento da fauna e contaminação de solos e hídrica, pelo derramamento de óleos e graxas.

Como durante as operações de extração não são tomadas medidas de controle e reabilitação, esses impactos que poderiam ser mitigáveis estão visíveis em praticamente todas as áreas em atividade e desativadas.

As principais medidas de controle ambiental para extração em planície de inundação são descritas a seguir:

- Não interferência na APP, devendo esta ser mantida como uma faixa de proteção.
- Desenvolvimento da extração em cavas fechadas, sem ligação direta com o rio, com o objetivo de evitar a contaminação da drenagem por águas turvas, com alto teor de partículas em suspensão.
- Os rejeitos e as pilhas de estoque devem ser dispostos fora da área de extração, para evitar o carreamento de sedimentos e a consequente contaminação das drenagens.

3.6.3.3– Extração de sedimentos terciários associados aos tabuleiros pré-litorâneos

Estão representados pelos depósitos terciários de composição areno-argilosa, que ocorrem nos tabuleiros pré-litorâneos, pertencentes à Formação Barreiras. Podem ocorrer recobertos pelos depósitos de dunas e paleodunas, sendo a extração feita de forma simultânea ou logo após a retirada da areia de duna.

Os principais impactos da extração de areia fina são a remoção da cobertura vegetal fixadora das dunas, desfiguração da paisagem e alterações na morfologia do terreno, desequilíbrio dos processos de transporte e sedimentação, assoreamento dos ecossistemas aquáticos, poluição e contaminação dos aquíferos.

Quando os depósitos não estão recobertos por dunas, os impactos advindos são menores. As alterações mais significativas na paisagem devem-se ao aprofundamento sem planejamento das cavas que, em consequência atingem o nível do lençol freático. O desmatamento e a formação de taludes favorecem o escoamento superficial, provocando um processo erosivo que contribui para o assoreamento e poluição das drenagens por águas com alto teor de material em suspensão (Figura 3.27 e 3.28). A movimentação dos equipamentos pesados de desmonte, carregamento e transporte produz grande quantidade de poeira, principalmente nas épocas de estiagem.



Figura 3.27 – Aspecto das alterações na paisagem causadas durante a extração de areia fina (vermelha) na RMF: A – município de Aquiraz; B – município de Caucaia.



Figura 3.28 – Aspecto das alterações na paisagem causadas durante a extração de areia fina (arisco) em duas áreas localizadas no município de Caucaia.

Também devem ser considerados: a emissão de gases, a geração de ruídos, a perturbação da vizinhança, o afugentamento da fauna e contaminação de solos e hídrica, pelo derramamento de óleos e graxas.

Atualmente, não estão em atividade áreas de extração de depósitos de areia fina recobertos por dunas, estando as áreas de extração tanto de areia vermelha quanto de arisco fora do domínio das dunas móveis e fixas.

Nas localidades de Sabiaguaba/Abreulândia, Cofeco, Iparana, Mangabeira, Pirapora, entre outras, em que havia extração de areia vermelha e/ou de areia branca de dunas, as atividades de extração foram desativadas e as áreas totalmente degradadas foram abandonadas, sem que fosse executada qualquer medida de recuperação, muito embora parte delas operasse com licença ambiental (Figuras 3.29, 3.30 e 3.31).



Figura 3.29 – Aspecto de uma área degradada e abandonada após a extração de areia fina (vermelha), sem que tenham sido executadas medidas de reabilitação (Sabiaquaba, município de Fortaleza).



Figura 3.30 – Aspecto de uma área degradada e abandonada após a extração de areia fina (vermelha), sem que tenham sido executadas medidas de reabilitação (Pirapora, município de Caucaia).



Figura 3.31 – Aspecto de uma área degradada e abandonada após a extração de areia fina (vermelha), sem que tenham sido executadas medidas de reabilitação (Mangabeira, município de Eusébio).

4 - ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

A quantidade de pesquisas objetivando a utilização na construção civil de agregados alternativos em substituição a areia natural e a pedra britada vem crescendo substancialmente.

Na maioria das vezes são constituídos de resíduos, rejeitos ou mesmo subprodutos, inertes ou semi-inertes, de processos industriais. Destacam-se, entre outros, os agregados leves, do tipo da argila expandida; as escórias de alto forno ou aciaria, rejeito da produção do aço; o pó de pedra, oriundo do processo de britagem de rochas e os resíduos de construção e demolição (RCD).

Além dos citados acima, na RMF a produção de areia marinha em substituição as areias de rios também poderá vir a ser uma opção atrativa.

Por outro lado, atualmente existe uma tendência nos países mais desenvolvidos, envolvendo uma utilização mais intensa de perfis metálicos, nas funções de vigas e pilares, tendendo o concreto a ser utilizado, principalmente, na confecção de lajes.

4.1 – ARGILAS EXPANDIDAS

A argila expandida é obtida por aquecimento de alguns tipos de argila em temperaturas em torno de 1200°C. Ao se aproximar desta temperatura, uma parte dos constituintes da argila se funde transformando-se em uma massa viscosa e a outra parte se decompõe, quimicamente, liberando gases que são incorporados pela massa, expandindo o volume inicial em até sete vezes. Como os gases retidos no interior da argila não podem escapar, essa estrutura porosa se mantém após o resfriamento, fazendo com que a massa unitária da argila resultante seja menor do que antes do aquecimento. Com isso, a argila expandida poderá ser utilizada como agregado graúdo na fabricação de concretos leves, com o objetivo de reduzir o peso próprio das estruturas (Santos, 1992).

O agregado de argila expandida pode ser produzido pelo tratamento térmico da matéria-prima, triturada e classificada granulometricamente, ou moída e pelotizada, em forno similar aos usados na fabricação de cimento *Portland*. Outra forma de obtenção do agregado de argila expandida é por sinterização contínua (Mehta & Monteiro, 1994).

Embora muito se fale na utilização de argila expandida como agregado na fabricação de concreto, a produção no Brasil atende, principalmente, a indústria têxtil (estonagem de jeans) e de ornamentação (decoração de jardins).

Moravia *et al* (2006) caracterizou a argila expandida disponível no mercado, visando sua melhor especificação e utilização para produção de concretos leves, e comparou os resultados com concreto produzido com brita calcária. A partir dos resultados obtidos no estudo, verificou-se que todos os traços do concreto leve apresentaram queda de resistência em relação aos respectivos traços do concreto de referência, tendo concluído que a argila expandida possui menor resistência à compressão em relação à brita calcária.

4.2 – ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS

A geração de resíduos é um problema mundial, sendo este um dos maiores impactos ambientais provenientes da indústria siderúrgica. Os principais coprodutos gerados na fabricação do aço são as escórias de alto-forno e a de aciaria.

A escória de aciaria possui características físicas e mecânicas excelentes quando comparadas a agregados naturais, já sendo utilizadas em base e sub-base de rodovias, em concretos asfálticos, em lastros ferroviários, na proteção de taludes, na construção de estacionamentos, de aterros, de pátios industriais, em pavimentos de estradas vicinais, como fertilizantes agrícolas e na fabricação do cimento. No entanto, seu alto potencial expansivo é um fator limitante para sua utilização.

A possibilidade de ocorrer expansão é a principal questão que existe quanto à utilização da escória de aciaria como um agregado de base e sub-base de pavimentação e aterro. De acordo com Sbrighi & Battagin (2002), o efeito do somatório das contribuições das reações expansivas existentes resulta na expansão da escória de aciaria, impossibilitando, em princípio, a sua utilização. Estas reações expansivas ocorrem envolvendo alguns compostos presentes na escória de aciaria, gerando tensões internas que originam trincas e resultam até na pulverização do material.

A crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável, o aumento das restrições ambientais que limitam os planos de expansão de algumas empresas estão motivando as siderúrgicas a investir cada vez mais em tratamento das escórias de aciaria, visando a minimizar o efeito das reações expansivas de seus componentes. Existem diferentes técnicas de tratamento de redução da expansão das escórias de aciaria, sendo utilizadas no Brasil as seguintes técnicas: ao tempo e ao tempo com molhagem e aeração diária.

A metodologia para avaliar o potencial de expansão da escória de aciaria, já está normatizada no Brasil na norma DNIT-EM 262/94, que especifica a utilização de escória de aciaria para pavimentos rodoviários. Neste ensaio, o corpo-de-prova compactado permanece 14 dias numa estufa, sendo durante os primeiros 7 dias totalmente submerso e os outros 7 dias apenas saturado com água. O limite de aceitação deste método é de 3% (Mendonça & Rodrigues, 2008).

4.3 – RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCB), popularmente conhecidos como entulho, são responsáveis por impactos expressivos no meio ambiente, pois, frequentemente, são dispostos de maneira inadequada em terrenos baldios e outras áreas públicas, ou em bota-foras e aterros, tendo, assim, sua potencialidade de reutilização desperdiçada.

Apesar desta prática ainda ser comum na maioria dos centros urbanos brasileiros, pode-se dizer que nos últimos anos ela tem diminuído, em decorrência principalmente do avanço nas políticas de gerenciamento de resíduos sólidos, como a criação da Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão destes resíduos, classificando-os em quatro diferentes classes:

- Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (tijolo, concreto, etc);
- Classe B – resíduos reutilizáveis/recicláveis para outras indústrias (plástico, papel, etc);
- Classe C – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias viáveis que permitam sua reciclagem (gesso e outros) e
- Classe D – resíduos perigosos (tintas, solventes, etc), ou contaminados (de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros).

Os resíduos classificados como da Classe A, ou seja, cerâmica, blocos, concretos, pisos e outros oriundos de construção e demolição (RCD) podem ser transformados em

agregados reciclados como brita nas diferentes granulometrias. Esses agregados são utilizados como base e sub-base de pavimentação, concreto para uso em guias, sarjetas, mourões, blocos de vedação e em outras aplicações não estruturais. O material reciclado ainda pode ser muito útil para o controle de erosão, recuperação de estradas rurais e na fabricação de bloquetes para pisos intertravados.

Extremamente vantajoso, o uso dos materiais reciclados chega a gerar uma economia de até 30% em relação a similares com matéria-prima não reciclada, dependendo dos gastos indiretos e da tecnologia empregada nas instalações de reciclagem, pois seu aproveitamento racional requer um tratamento tecnológico do RCD, com a separação dos resíduos não aproveitáveis para este fim, porém aproveitáveis para outros usos e a britagem dos concretos, telhas, ladrilhos e afins para, após seleção e classificação serem reutilizados.

Na Europa os agregados reciclados também são utilizados em concretos estruturais. No Brasil, embora já existam pesquisas em andamento para utilização desses agregados reciclados de RCD em funções estruturais, seu uso ainda está limitado a concretos não estruturais.

4.4 – AREAIA DE BRITAGEM

Nos últimos anos a produção de areia de britagem teve um grande incremento no Brasil, principalmente nos grandes centros urbanos das regiões Sul e Sudeste, mas já há interesse e produção nas demais regiões, ainda que o volume produzido seja pouco expressivo.

Atualmente, o principal fator para a diferença regional na produção de areia de britagem é a disponibilidade, ainda existente, de areia natural em determinadas regiões. No entanto, as crescentes restrições ambientais à extração de areia em canais de rios e várzeas, bem como a necessidade das pedreiras em dar destinação ao pó de pedra produzido em excesso, tem tornado o uso de areia de britagem atrativo, mesmo onde não há escassez de areia natural.

A uniformidade da areia de britagem, quando comparada com a da areia natural, e a maior facilidade de obtenção, visto que será produzida em unidades de britagem já instaladas, são suas principais vantagens. Entretanto, a distribuição granulométrica, a forma angulosa e muitas vezes lamelar de suas partículas e, principalmente, o excesso de microfinos são questões que ainda podem criar entraves na sua utilização.

A tecnologia de produção de areia de brita ainda é muito variável, tanto pode ser usada isoladamente quanto em mistura com a areia natural. O beneficiamento varia da simples lavagem e classificação até operações mais sofisticadas e caras para correção do formato das partículas.

O beneficiamento por lavagem do pó de pedra para eliminação do material pulverulento (partículas menores que 75:m) é usado em algumas localidades e embora a areia produzida possa ficar enquadrado na faixa granulométrica da areia, apresenta forma inadequada e elevado módulo de finura, sendo necessária a adição de grande quantidade de areia natural para adequar suas características àquelas necessárias para o agregado miúdo na fabricação do concreto.

As novas tecnologias, com a utilização dos britadores VSI autógenos e dos rebritadores de cone de alta velocidade, tornam possível produzir areia de britagem com

melhor graduação e formato arredondado das partículas. Entretanto, a extração do excesso de microfinos em processo a seco ainda é uma questão pendente (Ohashi, 2008).

A revisão da norma ABNT 7211 alterando os limites para o material fino que passa através da peneira 75:m por lavagem (microfinos) quando produzido por britagem de rocha, que foram elevados de 3% para 10% (para concreto submetido a desgaste superficial) e de 5% para 12% (para concreto protegido do desgaste superficial), desde que seja possível comprovar, por análise mineralógica, que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais inadequados os micáceos, os ferruginosos e os argilo-minerais expansivos (Cuchierato *et al*, 2005). Com a revisão, aumentou a possibilidade da quantidade de microfinos atender aos limites da norma, com a aplicação do processo de extração a seco em substituição ao processo a úmido, que sofre severas restrições ambientais.

Foi realizada a determinação da composição granulométrica, de acordo com a NBR 248:2003, em amostras de pó de pedra produzidas na RMF, as quais não sofreram nenhum tipo de tratamento.

Na figura 4.1 pode-se observar que a maioria das amostras de pó de pedra coletada na RMF, sem tratamento, se enquadra na zona utilizável definida na NBR 7211:2009 para a distribuição granulométrica do agregado miúdo para uso na fabricação do concreto.

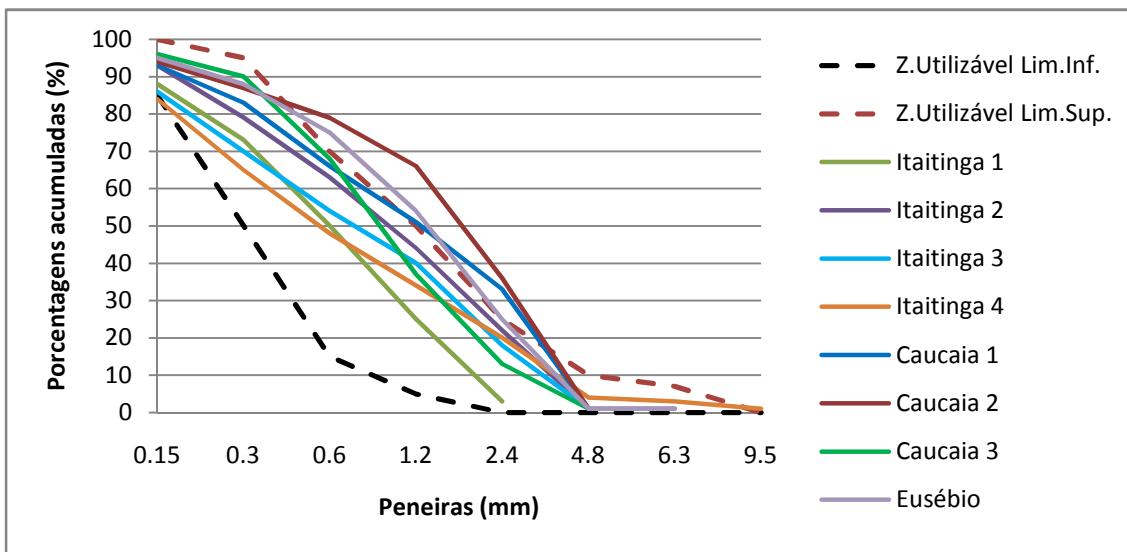


Figura 4.1 - Curvas granulométricas de amostras de pó de pedra coletadas na RMF, incluindo os limites da zona utilizável definida na NBR 7211:2009.

Na figura 4.2 é apresentada a distribuição granulométrica de amostras de pó de pedra, sem tratamento, coletadas na RMF, incluindo os limites recomendados na norma ASTM C-144 para a distribuição granulométrica do agregado miúdo para uso na fabricação de argamassas de assentamento. De todas as amostras analisadas, apenas uma amostra de pó de pedra atende a norma ASTM C-144.

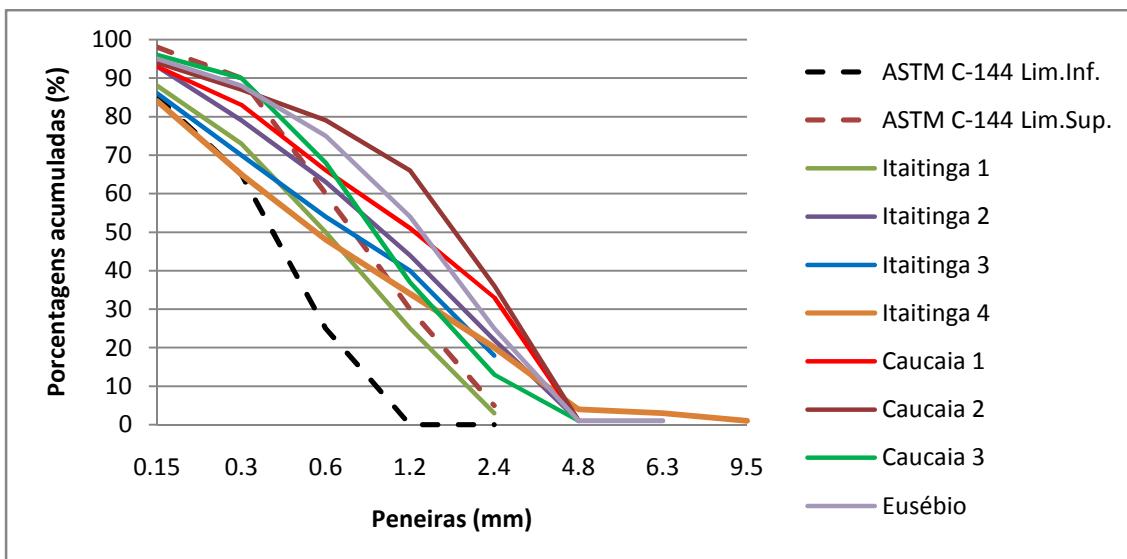


Figura 4.2 - Curvas granulométricas de amostras de pó de pedra coletadas na RMF, incluindo os limites recomendados pela ASTM C-144.

Na tabela 4.1 são apresentados os resultados de módulo de finura, dimensão máxima característica e percentual em massa que passa na peneira 0,15mm. Com relação ao módulo de finura, somente a amostra “Caucaia 2” ficou fora do limite da zona utilizável definida na NBR 7211:2009. Não foram realizados ensaios de determinação da forma das partículas e do material fino que passa através da peneira 75:m por lavagem (material pulverulento).

	Itaitinga 1	Itaitinga 2	Itaitinga 3	Itaitinga 4	Caucaia 1	Caucaia 2	Caucaia 3	Eusébio
Módulo de Finura	2,39	3,02	2,68	2,55	3,27	3,63	3,05	3,38
Dimensão Máxima Característica (mm)	2,4	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Percentual em massa menor que 0,15mm	12	7	14	16	7	6	4	5

Tabela 4.1 – Resultados do ensaio de determinação da composição granulométrica de amostras de pó de pedra da RMF.

4.5 – AGREGADO MARINHO

A RMF como a maioria das regiões metropolitanas brasileiras encontra-se na zona costeira, podendo os agregados marinhos ser extraídos e desembarcados em áreas localizadas em seu interior, evitando, assim, longas distâncias de transporte terrestre que tanto oneram a mineração de agregados.

Em vários países do mundo, 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, assim, a extração em áreas de importância para agricultura, turismo e meio ambiente.

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 utilizam agregados marinhos na construção civil, destacam-se Japão, Reino Unido, França, Países Baixos, Bélgica, Suécia, Alemanha, Finlândia, Dinamarca e Nova Zelândia.

Areias e cascalhos marinhos são também muito comumente usados em obras de retenção contra inundações e de defesa da costa. Para reconstituição de perfis de praias, as areias e cascalhos marinhos são preferidos, pois são considerados mais apropriados tecnicamente, economicamente e do ponto de vista ambiental.

Além das especificações exigidas nas normas vigentes, no caso da utilização dos agregados marinhos na construção civil, também terão que ser verificados 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 escorrimento 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, a areia marinha é submetida a um processo de escorramento, pois bem escoada, a concentração de sais será inferior a 0,17%, com uma umidade de 5% (Boutmin, 1986).

Cavalcanti (1998) realizou estudo de caracterização de areia marinha para utilização como agregado miúdo na fabricação do concreto, em área localizada na plataforma continental de Fortaleza, totalizando 2,1 milhas náuticas² e com profundidade média de 11 metros. Foram realizados os ensaios de caracterização do agregado para concreto especificado na NBR 7211 em amostras de areia marinha, tendo sido também realizado caracterização similar em amostras de agregado não marinho utilizado, habitualmente, na fabricação do concreto na RMF para comparação. As amostras de agregado marinho apresentaram resultados bastante satisfatórios com relação à composição granulométrica, à reatividade potencial e à presença de material pulverulento, argila em torrões, impurezas orgânicas e micas, conforme pode ser visualizado na tabela 4.2.

ENSAIOS	AREIAS MARINHAS	AREIAS CONTINENTAIS	NBR 7211:2009
Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis	0,01 a 0,86 %	0,10 a 1,60 %	Limite máximo = 3,0 %
Impurezas Orgânicas	Todas as amostras com resultado satisfatório.	Maioria das amostras com resultado satisfatório.	A solução obtida deve ser mais clara que a solução padrão
Teor de Materiais Pulverulentos	0,40 a 2,94 %	0,60 a 3,00 %	Limites máximos: 3% - para concretos submetidos a desgaste superficial e 5% - outros tipos.
Reatividade Potencial	Inócuas	Inócuas	

Tabela 4.2 – Comparação entre os resultados dos ensaios para caracterização da areia marinha e da areia continental em uso na RMF, na época do estudo.

Na figura 4.3 é apresentada a distribuição granulométrica de amostras de agregado marinho coletadas na plataforma continental de Fortaleza, incluindo os limites recomendados para a zona utilizável definida na NBR 7211:2009 para a distribuição granulométrica do agregado miúdo para uso na fabricação do concreto.

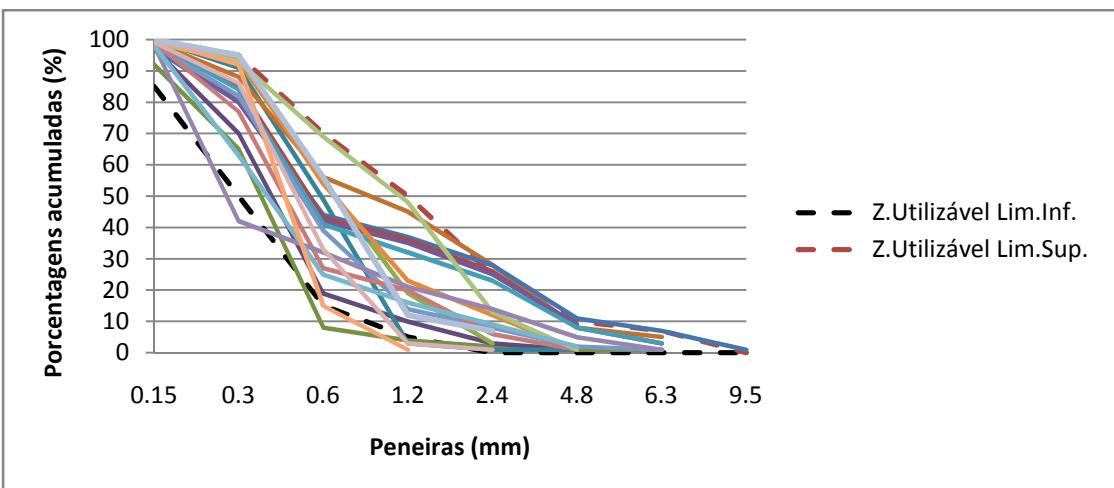


Figura 4.3 - Curvas granulométricas de amostras de agregado marinho coletado na plataforma continental de Fortaleza, incluindo os limites da zona utilizável definida na NBR 7211:2009.

Com relação à presença de conchas, estas criam vazios no concreto, aumentando a porosidade e diminuindo a resistência à compressão e à corrosão. Como não há norma brasileira, foi utilizado o previsto na bibliografia e normas francesas. A norma francesa NF P 18-301, indica que os teores em fragmentos de conchas não devem ultrapassar 30 %. Augris & Cressard (1984) indicam os seguintes limites de carbonato de cálcio para a utilização do agregado na fabricação do concreto: inferior a 10 % - aceitável; entre 10 e 20 % - médio, deve ser confirmado por ensaios em corpos de prova; entre 20 e 30 % - forte, ensaios em corpos de prova indispensáveis; superior a 30 % - inaceitável. No estudo realizado por Cavalcanti (1998), apenas 18,79% das amostras de agregado marinho apresentaram teor de CaCO_3 inferior a 30% e podem ser utilizadas sem tratamento, conforme a norma citada. O teor em conchas determinado por contagem à lupa binocular foi sempre inferior a 20%, devendo-se os altos teores em CaCO_3 aos fragmentos de algas calcárias e as películas carbonáticas que ocorrem recobrindo os grãos. O peneiramento à 4 mm diminui sensivelmente o teor em conchas, essencialmente por eliminação das conchas inteiras, que são as mais nocivas.

A norma francesa DTU 21-4, classifica os agregados marinhos em: não salinos, apresentam teores de íons cloro inferiores à 0,21 % e podem ser utilizados em concreto armado; fracamente salinos, apresentam menos de 0,33 % de íons cloro e podem ser utilizados em argamassas e concretos não armados; salinos, apresentam mais de 0,33 de íons Cl^- e sua utilização não é aconselhável. Boutmin (1986) define que o teor em íons Cl^- dos agregados é função da granulometria (superfície específica) e da salinidade das águas de descarregamento hidráulico. Com base neste conceito, mais de 90 % das areias marinhas coletadas na plataforma continental de Fortaleza foram classificadas como não salinas, quando descarregadas hidráulicamente em tremonha, ou seja, quando submetidas ao escorrimento adequado (Cavalcanti, 1998).

Na área estudada por Cavalcanti (1998), o teor em conchas acima da especificação deveu-se ao tipo depósito estudado, definido como uma antiga linha de praia, retrabalhada pelas ondas e marés, que apresenta uma maior quantidade de conchas que um depósito de origem fluvial. 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 paleovalves, em que as areias marinhas apresentam as mesmas características daquelas de origem similar exploradas no continente, podendo a ocorrência destes na plataforma continental de Fortaleza ser delimitada por levantamento geofísico.

5 – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR PRODUTOR

Uma estimativa bastante conservadora aponta para que, nas últimas três décadas, a Região Metropolitana de Fortaleza – RMF consumiu um mínimo de 50 milhões de metros cúbicos de areia e brita na construção civil e demais obras de infraestrutura, ou seja, foi extraído das áreas de produção um volume de areia e rochas que daria para construir um paralelepípedo sólido com 500m de lado nas suas bases e 200 m de altura, pesando mais de 100 milhões de toneladas, ou então 1,7 milhões de carretas de 30 metros cúbicos.

Todo esse material está hoje distribuído por toda a região metropolitana sob a forma de moradias, lojas, shoppings, hospitais, ferrovias, rodovias, avenidas, aeroporto, portos e toda e qualquer outra obra de construção civil que exista na região. Os materiais outrora existentes nas atuais cavas criadas pela mineração estão hoje compondo as nossas cidades da RMF.

Entre 2005-2010, período de enfoque desse estudo, a população cearense, que atualmente conta com pouco mais de 8,2 milhões de habitante, teve um crescimento próximo a 7 %, quando a produção estadual de agregados cresceu quase 100%, gráfico 5.1. Contingente aproximado de 43% de todos os habitantes do estado reside nos 15 municípios que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza, ressaltando que somente em Fortaleza moram 29% de todos os cearenses.

A RMF é responsável pelo consumo de pouco mais da metade do total de agregados produzidos no Ceará, o que corresponde a 84% da brita e quase 36% da areia, tabela 5.1.

Regionalmente a produção e o consumo de agregados estão normalmente bastante atrelados - na maioria das vezes não há motivação para o produtor em gerar excedentes exportáveis dado que, como é o nosso caso específico, as rochas propícias à produção de brita e os depósitos de areia são recursos minerais abundantes e bem distribuídos em todo o Estado do Ceará o que, aliado ao peso da componente transporte rodoviário no custo final do produto, limita o envio de grandes volumes de material a grandes distâncias.

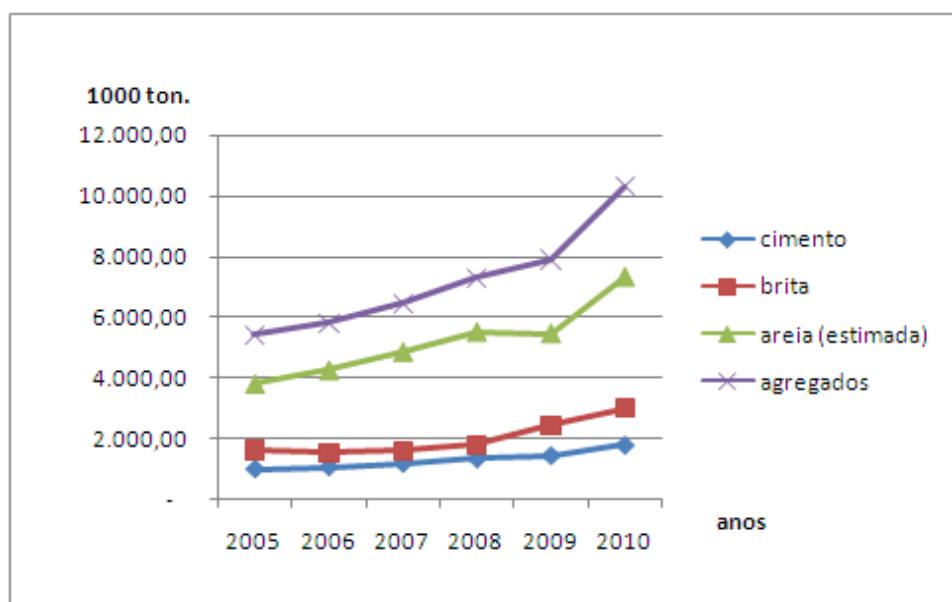


Figura 5.1 Produção de Cimento e Agregados no Ceará. FONTE: DNPM, *Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento

É importante ressaltar que a estrutura do setor produtor de agregados é bem diversa, quando se confrontam os produtos ofertados, areia e brita. Enquanto que a produção de brita provém de poucas empresas, tradicionais, organizadas e com alto grau de profissionalização e formalização a produção de areia provém de um setor pulverizado, composto em sua maioria por empresas de micro e pequeno porte, caracterizado por uma informalidade responsável por mais de dois terços do total da produção.

Essa grande informalidade na produção de areia traz sérios problemas para se estimar a real produção/consumo cearense de agregados, havendo necessidade de se inferir o volume total a partir do consumo em cimento, asfalto e outros indicadores o que, embora possibilite estimar o valor total, não permite indicar quais localidades estão efetivamente envolvidas na cadeia produtiva e o fluxo interno de materiais, o que seria um instrumento de extrema valia para o administrador público.

2010				
	BRITA (ton.)	%	AREIA (ton.)	%
RMF	2.600.000	87	2.500.000	36
CE FORA RMF	400.000	13	4.500.000	64
CE	3.000.000	100	7.000.000	100
TOTAL CE			10.000.000	

Tabela 5.1 – Consumo estimado de Agregados no Ceará e RMF – 2010. Fonte: DNPM

Os agregados são uma necessidade básica da civilização moderna, não há a menor possibilidade de se imaginar a nossa sociedade sem a participação intensa desses bens minerais. Como visto ao início deste item, conservadoramente falando, podemos afirmar que consumimos um mínimo de 50 milhões de metros cúbicos de agregados, entre brita e areia, na RMF nos últimos 30 anos.

Observe-se que, além de sua indiscutível imprescindibilidade, a mineração de agregados na RMF vem se mostrando perfeitamente compatível com um meio ambiente saudável, ressaltando que:

1 – Na produção de brita, além dos cuidados na lavra e no beneficiamento que já foram apresentados no item referente ao Controle Ambiental das áreas produtoras, a maioria dessas permaneceu, desde o início de suas operações na década de 1980, confinada em cerca de 0,12% da superfície metropolitana e se posiciona normalmente bastante afastada das áreas povoadas, conforme poderá ser observado nas figuras 5.4 a 5.10 à exceção dos serrotes de Itaitinga e do Cararu, onde, no entanto, as operações são muito anteriores à ocupação humana observada hoje.

2 - A produção de areia nos últimos anos se deu, predominantemente, em áreas situadas em leitos de rios. A lavra nesses ambientes, conforme se poderá observar nas figuras I e II foi uma ação até benéfica, dado que a extração de areia, quando tecnicamente bem conduzida, traz o desassoreamento dos cursos d’água, fato importante para os leitos dos rios típicos de nossa região.

5.1 - AREIA

A produção formal de areia na RMF somente se apresenta expressiva em 09 dos 15 municípios que a compõem, a esses se juntando mais 07 do entorno da região, tabela 5.2, observando-se que os valores apresentados não refletem a realidade da produção/consumo

regional e municipal, pelo motivo já exposto, que seja a insuficiência de dados causada pela informalidade do setor.

Até a data de conclusão dessa publicação, os dados dos Relatórios Anuais de Lavra, referentes ao ano de 2010 ainda não haviam sido consolidados, em face disso estão apresentados na Tabela 5.2 e Gráfico 5.2 os dados da oferta formal até 2009, ano em que a produção mostrou, para quase todos os municípios, um declínio de 7% em relação ao ano anterior. Na realidade, informações colhidas junto ao setor produtor, apontam para um crescimento constante na oferta de areia nesses últimos anos, acompanhando a brita.

MUNICÍPIOS	2.009	2.008	2.007	2.006
CASCABEL*	206.055	515	-	-
AQUIRAZ*	187.641	259.347	142.021	109.539
SÃO LUÍS DO CURU	120.702	138.760	176.286	150.411
S. GONÇALO DO AMARANTE*	61.424	121.793	23.040	-
CARIDADE	44.067	67.417	26.867	80.845
ARACOIABA	33.032	12.985	22.389	28.778
CAUCAIA*	27.518	50.965	9.246	31.395
BEBERIBE	8.581	24.734	19.829	10.290
PARAIPABA	7.450		-	-
BARREIRA	6.994	65.320	12.126	3.872
PACATUBA*	4.000		-	-
CHOROZINHO*	2.524	19.126	30.720	19.666
PARACURU	2.117	5.427	4.002	648
MARACANAÚ*	1.200		-	-
EUSÉBIO*	35	18	25.653	346
FORTALEZA*			14.510	1.104
TOTAL	713.340	766.407	506.690	436.893

Tabela 5.2 – Produção Formal de areia na RMF e entorno em 2009. FONTE: DNPM.

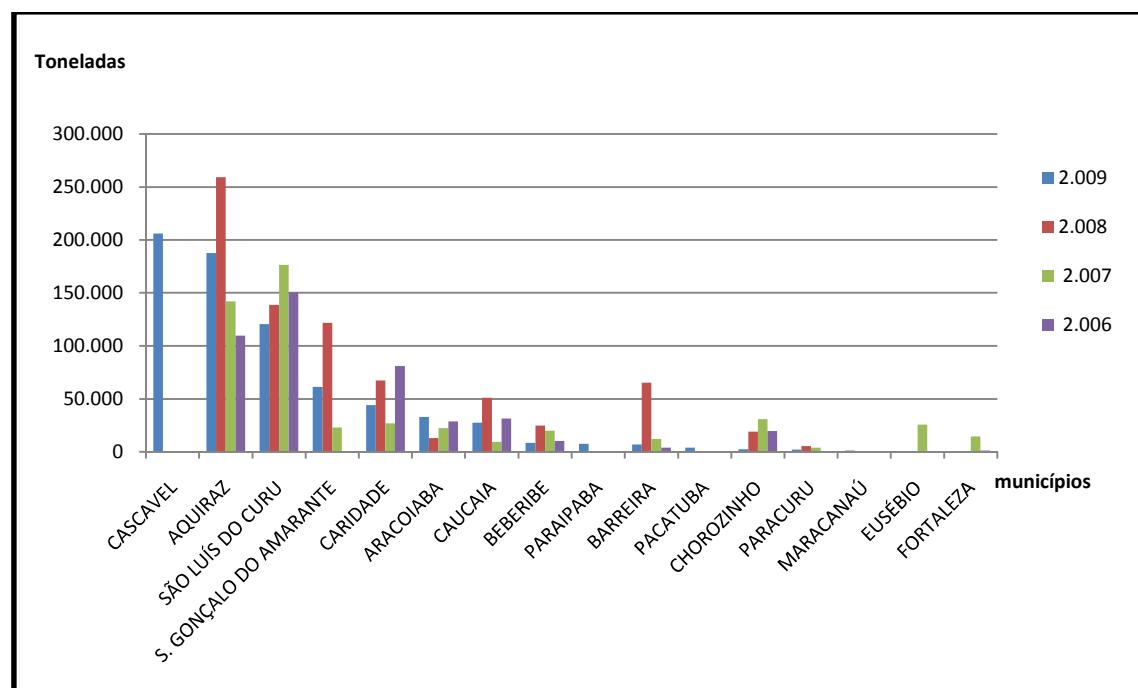


Figura 5.2 – Produção formal de Areia na RMF, por municípios. Fonte: DNPM

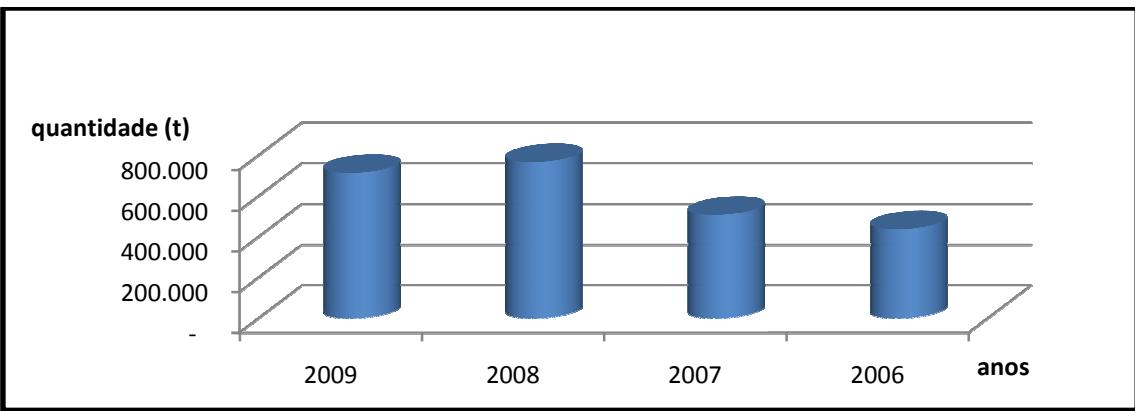


Figura 5.3 – Produção formal de areia na RMF, por ano. Fonte: DNPM.



Figura 5.1 – Área de Lavra no Rio Curú. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.



Figura 5.2 – Área de Lavra no Rio Choró. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth

5.2 - BRITA

Diferentemente do setor produtor de areia, como já frisado, o setor produtor de brita na Região Metropolitana de Fortaleza se encontra bem organizado, formalizado, composto por um pequeno número de empresas que estão localizadas em Caucaia, Maracanaú, Itaitinga e Eusébio, conforme visto no item 2 deste trabalho.

5.2.1 – Estrutura Empresarial

A década de 2001-2010 iniciou com nove britadores na RMF e encerrou com dez, a mais recente ingressa no ramo é a Nordeste Mineração Ltda. em Maracanaú que iniciou os trabalhos em 2009. Em termos de constância da produção, no entanto, na maior parte do período oito empresas produziram regularmente, a Construtora Queiroz Galvão SA teve a sua produção sempre atrelada às obras por ela executadas.

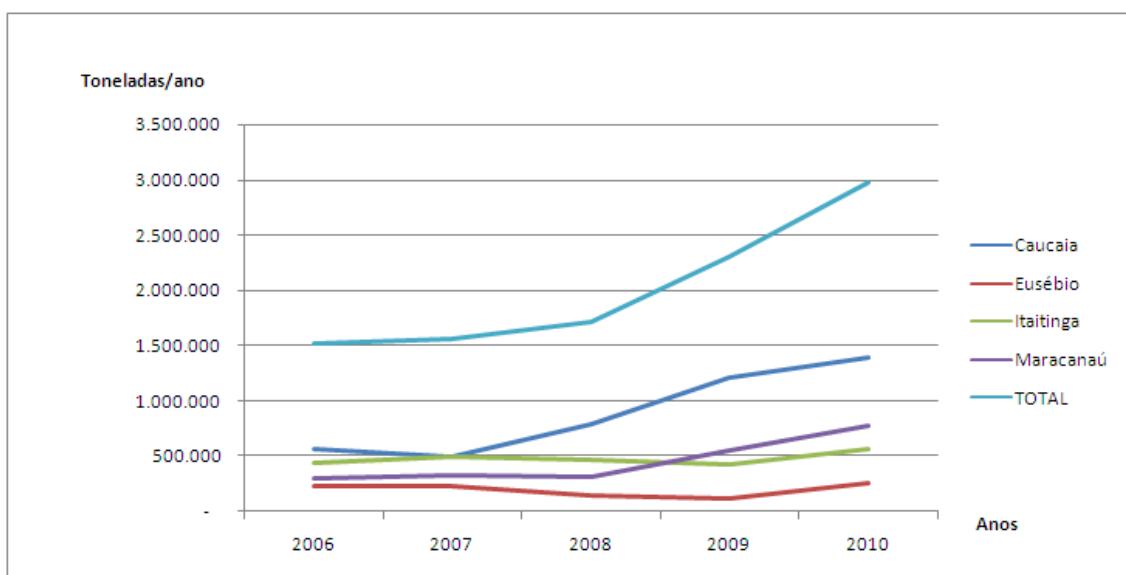


Figura 5.4 – Produção de Brita na RMF, por municípios. Fonte: DNPM

As nove empresas que abasteceram o mercado da região são todas empresas familiares, de empreendedores locais e, normalmente, oriundos da construção civil. Se comparado o setor produtor da RMF com o setor produtor nacional, utilizando como referência as mesmas faixas de produção utilizadas no “Perfil de Brita Para Construção Civil”, elaborado pela SGM/MME, para o PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL, o setor produtor da RMF diverge do nacional; 22% das empresas produziram acima de 500.000 ton./ano, 44% produziram entre 200.000 ton./ano e 33% abaixo de 200.000 ton./ano.

Em capítulo anterior foi apresentado o total da capacidade instalada de produção dos britadores primários das pedreiras da RMF nos anos de 2000 e de 2010, considerando uma abertura propícia à produção de brita “0”. Considerando que não houve alteração do parque produtivo entre 2000 e 2001, observa-se que na década 2001-2010 a capacidade instalada média de britamento primário passou de quase 1.400 ton./hora (produção estimada anual de quase 3,0 milhões de toneladas) para uma capacidade instalada de 2.300 ton./hora (produção anual estimada de quase 5,0 milhões de toneladas); portanto um crescimento na capacidade instalada de quase 70%.

5.2.2 – Recursos Humanos

As empresas de produção de brita da Região Metropolitana de Fortaleza mantiveram empregadas, ao longo do quinquênio 2006-2010, cerca de 300 pessoas, dentro da média nacional de 33 empregados por empresa, detectado no “Perfil de Brita Para Construção Civil”; observando-se pouca ou quase nenhuma oscilação nesse contingente - a mineração mecanizada não é normalmente um grande absorvedor de mão obra.

5.2.3 – Evolução da Produção/Consumo

A produção de brita, como já exposto, vem acompanhando a sua demanda. Considerada a década 2001 – 2010, tem-se que, ao seu final, a produção informada de brita na RMF foi de quase 3,0 milhões de toneladas contra uma produção informada, ao início, de cerca de 1,0 milhão de ton. - crescimento de 200% no período.

Em 2010 a produção equivaleu a 60% da capacidade instalada média de 5 milhões de toneladas, enquanto em 2001 a produção foi de um terço da capacidade instalada de 3 milhões de toneladas, o que permite concluir que, apesar dos investimentos das empresas no incremento de suas capacidades produtivas, houve uma grande redução na capacidade ociosa dos equipamentos.

A se manter o ritmo de crescimento da produção, que vem sendo impulsionado pela necessidade social de se zerar, senão reduzir drasticamente, a imensa demanda reprimida, a atual capacidade produtiva dos britadores da RMF estará, já nos próximos anos, comprometida, tendência possível de ser observada no gráfico 5.4.

Corrobora a afirmativa a curva de consumo de cimento para todo o Estado do Ceará na década passada. A produção de brita da RMF apresentou uma tendência geral em seu comportamento bastante coerente com a do cimento – uma queda em 2002/2003 e a retomada do crescimento já a partir de 2005.

As informações disponíveis não permitem afirmar que um crescimento da ordem de 30% que se repetiu nos dois últimos anos vá se manter – há a necessidade da realização de mais estudos para projetar, com algum grau de certeza, o patamar de demanda de brita para esta década. No entanto, a julgar pelas figuras 5.4 a 5.10 pode se verificar que os depósitos, com exceção dos Serrotes do Cararu, no Eusébio e de Itaitinga, em Itaitinga, consideradas as exigências atuais da construção civil, são suficientes para o atendimento das obras na RMF por muitas e muitas décadas.

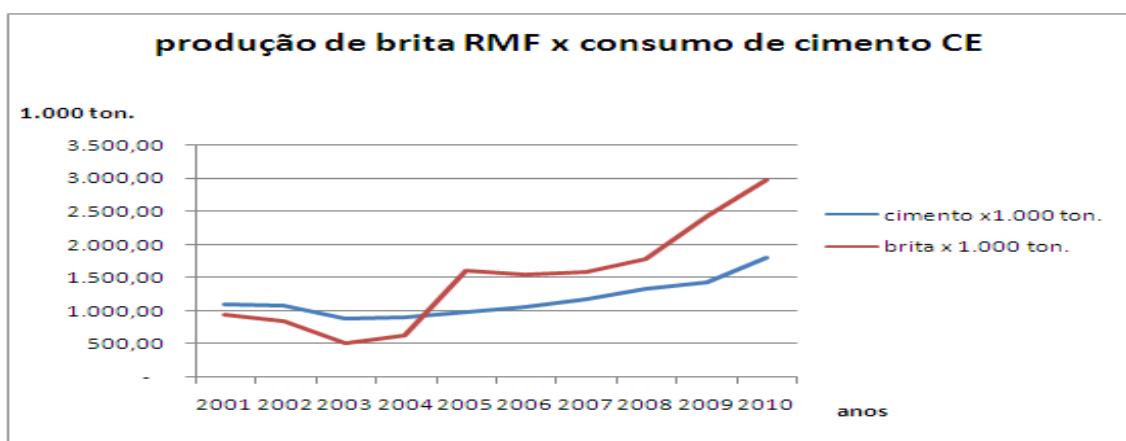


Figura 5.5 – Produção de brita na RMF x Consumo de cimento no Ceará. Fonte: DNPM, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC

5.2.4 – As Unidades de Produção de Brita

Considerando, ilustrativamente, como centro geográfico aproximado do município de Fortaleza o Aeroporto Pinto Martins, pela ilustração que segue observa-se que todos os 12 britadores estabelecidos que atendem a Região Metropolitana de Fortaleza estão num raio de até 30 km em linha reta, desse, figura 5.3.

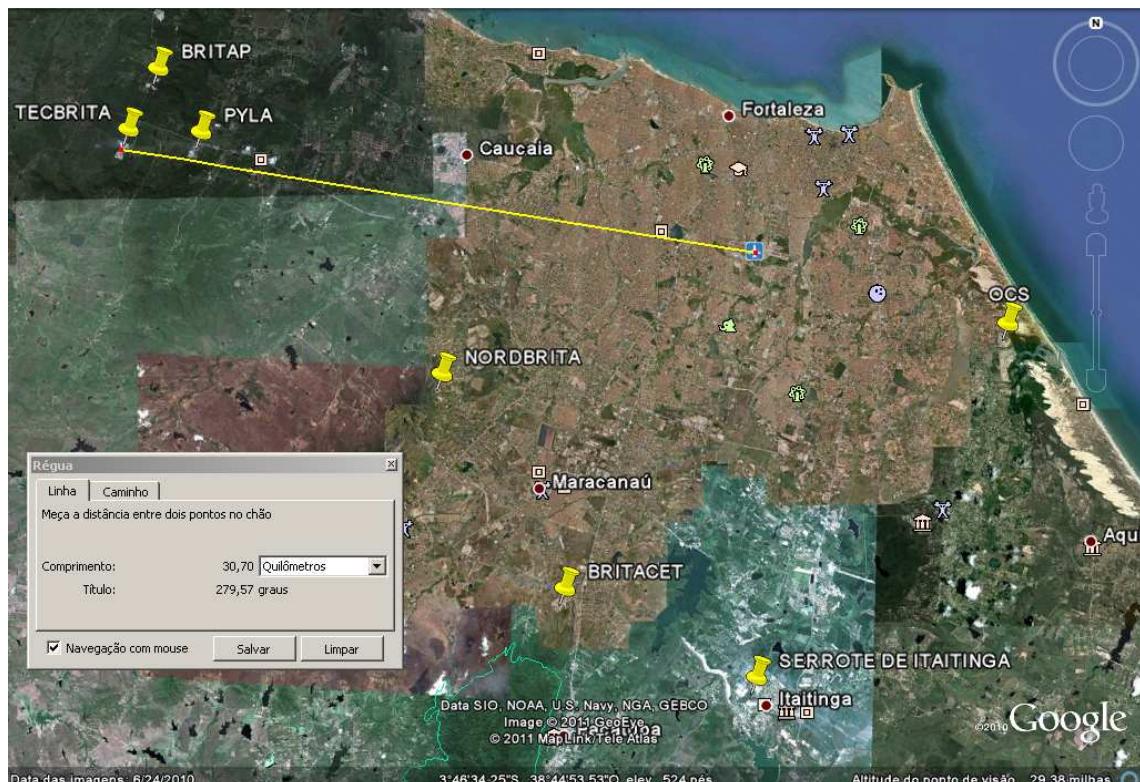


Figura 5.3 – Áreas de lavra de rochas para produção de brita na RMF. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.

5.2.4.1 – Distribuição espacial das Unidades de Produção

Por unidade produtiva, à exceção de Itaitinga, onde 6 instalações funcionam na Serra da Itaitinga, os empreendimentos mineiros estão inscritos em círculos (consideradas as frentes de lavra e as unidades de beneficiamento) de raios não superiores a 600 m, ou seja, não mais do que 100 hectares, em média, por empreendimento o que nos permite concluir que toda a produção metropolitana de brita está inserida em área que não ocupa cerca de 700 hectares, ou 7 km² - toda a produção de brita da RMF está restrita a uma área impactada ambientalmente, máxima, equivalente a 0,12% de toda a superfície da RMF.

À exceção de apenas uma empresa produtora, instalada em Maracanaú, as demais áreas de extração de rochas para produção de brita na Região Metropolitana de Fortaleza tiveram seus trabalhos iniciados há mais de trinta anos, portanto toda a demanda por brita da construção civil da RMF (obras de infraestrutura, prédios públicos, comerciais e residenciais) foi atendida, nas últimas três décadas, por material extraído dos locais de onde ainda hoje se extrai.

A mineração de brita, apesar de alguns impactos ambientais, principalmente o visual, vem permitindo a manutenção do crescimento da região ao longo das décadas, com pouco incremento da superfície utilizada nas operações de lavra e de beneficiamento.



Figura 5.4 – Área de Lavra da TECBRITA em Caucaia, em destaque raio da área de influência. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.



Figura 5.5 – Área de Lavra da BRITAP em Caucaia, em destaque raio da área de influência. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.



Figura 5.6 – Área de Lavra da PYLA em Caucaia, em destaque raio da área de influência. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.



Figura 5.7 – Área de Lavra da NORDBRITA em Maracanaú, em destaque raio da área de influência. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.



Figura 5.8 – Área de Lavra da BRITACET em Pacatuba, em destaque raio da área de influência.
Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.



Figura 5.9 – Áreas de Lavra na Serra da Itaitinga, Itaitinga, em destaque raio da área de influência.
Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.



Figura 5.10 – Área de Lavra da OCS no Eusébio, em destaque raio da área de influência. Fonte: DNPM. Imagem: Google Earth.

6 – ASPECTOS INSTITUCIONAIS

O presente item se destina a orientar de forma prática o leitor no emaranhado legal que envolve a indústria da mineração de agregados (areia e brita), sem pretender de forma alguma exaurir o assunto. Para uma e outra substância há uma diversificada série de determinações legais e infralegais de ordem minerária e de ordem ambiental. Observando que, no que concerne ao campo ambiental, a legislação ainda pode sofrer variações, além da esfera administrativa federal, nas esferas estaduais e municipais.

É importante, antes de adentrar na legislação específica, firmar alguns conceitos constitucionais atinentes à atividade de mineração:

- O Art. 20 da Constituição Federal, inciso IX, determinou que os recursos minerais, inclusive os do subsolo, são bens da União e no Parágrafo 1º estabeleceu que é assegurada aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, participação no resultado da exploração dos recursos minerais no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, ou compensação financeira por essa exploração.
- O Art. 22 da Constituição Federal, inciso XII, estabeleceu que compete privativamente, à União legislar sobre jazidas, minas, outros recursos minerais e metalurgia;
- O Art. 23 da Constituição Federal, inciso XI estabeleceu que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios;
- O Art. 49 da Constituição Federal, inciso XVI, determinou ser da competência exclusiva do Congresso Nacional autorizar, em terras indígenas, a exploração e o aproveitamento de recursos hídricos e a pesquisa e lavra de riquezas minerais;
- O Art. 176 da Constituição Federal, caput, estabeleceu que as jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra. Determinando ainda:
 - § 1º que a pesquisa e a lavra de recursos minerais e o aproveitamento dos potenciais a que se refere o "caput" deste artigo somente poderão ser efetuados mediante autorização ou concessão da União, no interesse nacional, por brasileiros ou empresa constituída sob as leis brasileiras e que tenha sua sede e administração no País, na forma da lei, que estabelecerá as condições específicas quando essas atividades se desenvolverem em faixa de fronteira ou terras indígenas; e
 - § 2º é assegurada a participação ao proprietário do solo nos resultados da lavra, na forma e no valor que dispuser a lei; e no § 3º que a autorização de pesquisa será sempre por prazo determinado, e as autorizações e concessões previstas não poderão ser cedidas ou transferidas, total ou parcialmente, sem prévia anuência do poder concedente.
- O Art. 225 da Constituição Federal 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-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações e ainda, no § 2º, 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.

6.1 - NORMATIZAÇÃO

O Código de Mineração, Decreto-Lei nº 227/1967, define como **recursos minerais** as massas individualizadas de substâncias minerais ou fósseis encontradas na superfície ou

no interior da terra, regula os regimes de seu aproveitamento, e dá ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM a competência pela sua execução.

Especificamente para a produção de agregados, o Código de Mineração prevê os seguintes regimes de aproveitamento:

I - Autorização, (pesquisa) - depende da expedição de alvará de autorização do Diretor-Geral do DNPM. O titular, que deverá realizar trabalhos de pesquisa na área autorizada, poderá realizá-los e também as obras e serviços auxiliares necessários, em terrenos de domínio público ou particular, abrangidos pelas áreas a pesquisar, desde que pague aos respectivos proprietários ou posseiros uma renda pela ocupação dos terrenos e uma indenização pelos danos e prejuízos que possam ser causados pelos trabalhos de pesquisa;

II - Concessão, (lavra) - depende de portaria de concessão do Ministro de Minas e Energia. A lavra deverá ser conduzida pelo concessionário observando o Plano de Aproveitamento Econômico aprovado pelo DNPM e deverá ser indenizado, pelos danos que venham a ocorrer na propriedade, o proprietário do solo ou o dono das benfeitorias;

III - Licenciamento, (lavra) - depende de licença expedida por autoridade municipal em obediência a regulamentos administrativos municipais e do respectivo registro da licença no DNPM. O aproveitamento mineral por licenciamento é facultado exclusivamente ao proprietário do solo ou a quem dele tiver expressa autorização, salvo se a jazida situar-se em imóveis pertencentes a pessoa jurídica de direito público.

As substâncias passíveis de aproveitamento pelo Regime de Licenciamento estão listadas no Art. 1º da Lei nº 6.567/1978 e são: areias, cascalhos e saibros para utilização imediata na construção civil, no preparo de agregados e argamassa, desde que não sejam submetidos a processo industrial de beneficiamento, nem se destinem como matéria-prima à indústria de transformação; rochas e outras substâncias minerais, quando aparelhadas para paralelepípedos, guias, sarjetas, moirões, argilas usadas no fabrico de cerâmica vermelha; e rochas, quando britadas para uso imediato na construção civil e os calcários empregados como corretivo de solo na agricultura. Também podem ser aproveitadas pelo regime de licenciamento rochas e outras substâncias aparelhadas, (aqueles submetidas a processo manual de dimensionamento ou facetamento) e os produtos de rochas para calçamento ou revestimento, sem beneficiamento de face.

IV - Registro de extração, (lavra) – destinado exclusivamente aos órgãos da administração direta e autárquica da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, sendo-lhes permitida a extração de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, para uso exclusivo em obras públicas por eles executadas diretamente, respeitados os direitos minerários em vigor nas áreas onde devam ser executadas as obras e vedada a comercialização;

Importa observar que não estão sujeitos aos preceitos do Código de Mineração os trabalhos de movimentação de terras e de desmonte de materiais in natura, que se fizerem necessários à abertura de vias de transporte, obras gerais de terraplenagem 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.

Vê-se, do exposto, que o leque das possibilidades legais de produção de agregados é bastante aberto podendo a areia, especificamente, ser utilizada legalmente até sem a autorização do DNPM, nos casos previstos no parágrafo anterior.

6.1.1 – A extração mineral não autorizada

A partir de 1989, com a Lei nº 7.805, a extração mineral não autorizada, passou à esfera de crime federal, tendência reafirmada posteriormente por outras leis, a ver:

- **Lei nº 7805/1989**, Art. 21 - A realização de trabalhos de extração de substâncias minerais, sem a competente permissão, concessão ou licença, constitui crime, sujeito a penas de reclusão de 3 (três) meses a 3 (três) anos e multa.
- **Lei nº 8.176/1991**, Art. 2º - Art. 2º Constitui crime contra o patrimônio, na modalidade de usurpação, produzir bens ou explorar matéria-prima pertencente à União, sem autorização legal ou em desacordo com as obrigações impostas pelo título autorizativo.
- Pena detenção, de um a cinco anos e multa.
- 1º Incorre na mesma pena aquele que, sem autorização legal, adquirir, transportar, industrializar, tiver consigo, consumir ou comercializar produtos ou matéria-prima, obtidos na forma prevista no caput deste artigo.
- **Lei nº 9.605/1998**, Art. 55 - Executar pesquisa, lavra ou extração de recursos minerais sem a competente autorização, permissão, concessão ou licença, ou em desacordo com a obtida:
- Pena - detenção, de seis meses a um ano, e multa.
- Parágrafo único. Nas mesmas penas incorre quem deixa de recuperar a área pesquisada ou explorada, nos termos da autorização, permissão, licença, concessão ou determinação do órgão competente.

6.1.2 - Áreas abrangidas pelos empreendimentos

A Portaria DNPM nº 392/2004, que fixa o limite máximo das áreas de autorizações de pesquisa, fixou em **50 hectares** o limite para a pesquisa das substâncias de que trata o art. 1º da Lei nº 6.567/1978, acompanhando o mesmo limite que a referida Lei estabeleceu para as substâncias passíveis de aproveitamento sob o regime de Licenciamento, dentre as quais estão todos os agregados (areias e brita).

Portanto, independente do regime que se propuserem a lançar mão, os empreendedores, pessoas físicas ou jurídicas, se Licenciamento ou Autorização/Concessão, as áreas máximas que lhe são permitidas, por empreendimento, são de **50 ha**. Já os órgãos da administração direta e autárquica da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, que pretendem produzir agregados para uso exclusivo em obras públicas, por eles executadas diretamente, de acordo a referida Portaria DNPM nº 392/2004, possuem limite máximo de **05 ha**, também por empreendimento.

6.1.3 – Prazos dos empreendimentos

Contrariamente às áreas máximas dos empreendimentos voltados à produção dos agregados, onde se observa uma uniformidade, ao se confrontar os regimes de Licenciamento e de Autorização/Concessão, no que toca aos prazos, para esses regimes o que se vê é uma acentuada variação. No regime de Autorização o prazo para a pesquisa é de 02 anos e, concluída essa, a Concessão de Lavra, quando outorgada, o é por tempo indeterminado.

No regime de Licenciamento a Lei 6.567/1978 estabelece apenas que o licenciamento depende da obtenção, pelo interessado, de licença específica, expedida pela autoridade administrativa local, no município de situação da jazida, e da efetivação do competente registro no DNPM. Não há prazo mínimo e nem máximo para uma licença

municipal ficando, ainda, o empreendedor, sujeito ao prazo estabelecido pelo proprietário do imóvel onde se situarem os trabalhos de extração.

Para os órgãos da administração direta e autárquica da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, que podem se utilizar do registro de extração, esse terá prazo determinado; a juízo do DNPM, considerando as necessidades da obra devidamente especificada a ser executada e a extensão da área objetivada no requerimento, admitida uma única prorrogação.

6.1.4 - Emolumentos, taxas e multas

Os custos administrativos para os diferentes regimes de aproveitamento de substâncias minerais também apresentam algumas divergências e estão estabelecidos na portaria DNPM nº 112/2010. Para o regime de Autorização, que no caso de agregados prevê prazo de vigência de 02 anos, é cobrado o valor de R\$ 549,84 para o requerimento de autorização e as taxas anuais, em valor de R\$ 2,02 por ha autorizado a pesquisar, observando que o não pagamento da taxa, no prazo, enseja multa em valor único de R\$ 2.036,39, podendo dobrar em caso de reincidência. O regime de licenciamento prevê a cobrança apenas de R\$ 110,82 para o requerimento inicial.

Ambos os regimes demandam, além dos custos administrativos da autarquia, uma série de trabalhos técnicos particulares que naturalmente trazem um ônus financeiro bem maior ao empreendedor. São custos relativos à elaboração por técnicos habilitados na forma da lei, dos requerimentos e planos de pesquisa, trabalhos de pesquisa, planos de aproveitamento econômico, planos de lavra, estudos ambientais...

6.1.5 – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais - CFEM

A compensação financeira devida por todos os detentores de direitos minerários a qualquer título, em decorrência da exploração de recursos minerais para fins de aproveitamento econômico, é de até 3% sobre o valor do faturamento líquido resultante da venda do produto mineral, obtido após a última etapa do processo de beneficiamento adotado e antes de sua transformação industrial.

Entende-se como faturamento líquido, o total das receitas de venda, excluídos os tributos incidentes sobre a comercialização do produto mineral, as despesas de transporte e as de seguro. Constituindo o fato gerador da CFEM a saída por venda do produto mineral das áreas da jazida, de onde provém, ou o de quaisquer estabelecimentos, sempre após a última etapa do processo de beneficiamento adotado e antes de sua transformação industrial - para os agregados a alíquota é de 2%.

6.1.6 – Participação do proprietário do solo

Na aplicação dos regimes de Autorização, Licenciamento e Concessão é garantido o direito à participação do proprietário do solo nos resultados da lavra, em valor equivalente a 50% do valor total devido a título de CFEM. O pagamento da participação do proprietário do solo nos resultados da lavra de recursos minerais será efetuado mensalmente, até o último dia útil do mês subsequente ao do fato gerador, devidamente corrigido pela taxa de juros de referência, ou outro parâmetro que venha a substituí-la. Já no caso do regime de licenciamento, como a prioridade é do proprietário do solo ou de quem dele tiver permissão, eventuais compensações são estabelecidas em acordos particulares.

6.2 – MEIO AMBIENTE

6.2.1 – Licenciamento Ambiental

Qualquer atividade voltada à extração mineral em nosso país requer o Licenciamento Ambiental, na forma da Lei nº 6.938/1981 e regulamentado pelas Resoluções CONAMA 09/1990, 10/1990, 237/1997, 303/2002 e 369/2006. Já a lei nº 9.605/1998 trata das sanções às atividades lesivas ao meio ambiente. Para o caso específico da mineração de agregados, cada um desses instrumentos legal/infralegal determina:

Na conformidade da Lei 6.938/1981 a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis. (Redação dada pela Lei nº 7.804, de 1989).

A Resolução nº 237/1997 regulamenta especificamente os procedimentos referentes ao Licenciamento Ambiental e estabeleceu que o Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

- **Licença Prévia (L.P.)** - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação.
- **Licença de Instalação (L.I.)** - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual contribuem motivo determinante.
- **Licença de Operação - (L.O.)** - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

6.2.2.- Regime de Autorização e Concessão

A Resolução CONAMA nº 09/1990 se aplica a quem pretende o aproveitamento mineral pelos regimes de Autorização e Concessão, pois trata tanto do licenciamento ambiental da extração mineral na fase de pesquisa – Guia de Utilização – quanto para a fase de Concessão de Lavra.

- A realização da pesquisa mineral quando envolver o emprego de Guia de Utilização, fica sujeita ao licenciamento ambiental pelo órgão competente. O empreendedor deverá requerer ao órgão ambiental a Licença de Operação para pesquisa mineral, apresentando o plano de pesquisa mineral, com a avaliação do impacto ambiental e as medidas mitigadoras a serem adotadas; e
- A concessão da Portaria de lavra ficará condicionada à apresentação ao DNPM, por parte do empreendedor, da Licença de Instalação.

6.2.3.- Regime de Licenciamento e Registro de Extração

Para o caso específico do Registro de Extração, a Licença de Operação, por força do Decreto 3.358/2000, deve ser apresentada no ato da protocolização do requerimento junto ao DNPM.

Para o Regime de Licenciamento o assunto é tratado pela Resolução 10/1990.

- A exploração de bens minerais tratados pelo Art. 1º da lei nº 6.567/1978 deverá ser precedida de licenciamento ambiental do órgão estadual de meio ambiente ou do IBAMA, quando couber, nos termos da legislação vigente. Devendo o empreendedor apresentar ao DNPM a Licença de Instalação, para obtenção do Registro de Licenciamento.

- Após a obtenção do Registro de Licenciamento e a implantação dos projetos constantes do PCA (plano de controle ambiental), aprovados quando da concessão da Licença de Instalação, o empreendedor deverá requerer a Licença de Operação - LO, apresentando a documentação necessária.

6.2.4 – Áreas de Preservação Permanente - APP

Os órgãos ambientais competentes poderão, nos casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, autorizar a intervenção ou supressão de vegetação em APP, quando devidamente caracterizada e motivada mediante procedimento administrativo autônomo e prévio, e atendidos os requisitos previstos na Resolução CONAMA nº 369/2006 e noutras normas federais, estaduais e municipais aplicáveis, bem como no Plano Diretor, Zoneamento Ecológico-Econômico e Plano de Manejo das Unidades de Conservação, quando existentes.

Segundo o Art. 3º da Resolução CONAMA nº 303, de 2002 constituem Áreas de Preservação Permanente as áreas situadas:

I - em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de:

- a) trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura;
- b) cinquenta metros, para o curso d'água com dez a cinquenta metros de largura;
- c) cem metros, para o curso d'água com cinquenta a duzentos metros de largura;
- d) duzentos metros, para o curso d'água com duzentos a seiscentos metros de largura;
- e) quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura;

II - ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente com raio mínimo de cinquenta metros, de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte;

III - ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de:

- a) trinta metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas;
- b) cem metros, para as que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d'água com até vinte hectares de superfície, cuja faixa marginal será de cinquenta metros;

IV - em vereda e em faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de cinquenta metros, a partir do limite do espaço brejoso e encharcado;

V - no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base;

VI - nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a mil metros;

VII - em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive;

- VIII** - nas escarpas e nas bordas dos tabuleiros e chapadas, a partir da linha de ruptura em faixa nunca inferior a cem metros em projeção horizontal no sentido do reverso da escarpa;
- IX** - nas restingas:a) em faixa mínima de trezentos metros, medidos a partir da linha de preamar máxima;b) em qualquer localização ou extensão, quando recoberta por vegetação com função fixadora de dunas ou estabilizadora de mangues;
- X** - em manguezal, em toda a sua extensão;
- XI** - em duna;
- XII** - em altitude superior a mil e oitocentos metros, ou, em Estados que não tenham tais elevações, a critério do órgão ambiental competente;
- XIII** - nos locais de refúgio ou reprodução de aves migratórias;
- XIV** - nos locais de refúgio ou reprodução de exemplares da fauna ameaçada de extinção que constem de lista elaborada pelo Poder Público Federal, Estadual ou Municipal;
- XV** - nas praias, em locais de nidificação e reprodução da fauna silvestre.

Na ocorrência de dois ou mais morros ou montanhas cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a quinhentos metros, a Área de Preservação Permanente abrange o conjunto de morros ou montanhas, delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha de menor altura do conjunto, aplicando-se o que segue:

- I** - agrupam-se os morros ou montanhas cuja proximidade seja de até quinhentos metros entre seus topos;
- II** - identifica-se o menor morro ou montanha;
- III** - traça-se uma linha na curva de nível correspondente a dois terços deste; e
- IV** - considera-se de preservação permanente toda a área acima deste nível.

6.2.5 – Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação da Região Metropolitana de Fortaleza foram todas estabelecidas pelo Governo do Estado do Ceará, e conforme informações colhidas no site da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE são:

APA do Lagamar do Cauípe, unidade de conservação de uso sustentável definida pelo Decreto Estadual Nº 24.957, de 05 de junho de 1998 (DOE - 08.06.98) possui área compreendida em 1.884,4640 ha, perímetro de 21.232,78 m, situada no município de Caucaia (Figura 6.1).

APA do Pecém, unidade de conservação de uso sustentável definida pelo Decreto Estadual Nº 24.957, de 05 de junho de 1998 (DOE - 08.06.98), possui área compreendida em 122,7999 ha, perímetro de 5.875, 23m, situada no município de São Gonçalo do Amarante.

APA da Serra da Aratanha, unidade de conservação de uso sustentável criada por meio do Decreto Estadual Nº 24.959, de 05 de junho de 1998, abrange uma área de 6.448,29 hectares e encontra-se localizada na Região Metropolitana de Fortaleza envolvendo parcelas dos Municípios de Maranguape, Pacatuba e Guaiúba, tendo como limite físico a cota altimétrica de 200 metros (Figura 6.3).

APA do Estuário do Rio Curu, unidade de conservação de uso sustentável criada por meio do Decreto nº 25.416, de 29 de março de 1999, abrange uma área de 881,94 hectares e localiza-se na divisa dos Municípios de Paracuru e Paraipaba (Figura 6.2).

APA das Dunas de Paracuru, unidade de conservação de uso sustentável criada por meio do Decreto Nº 25.418, de 29 de março de 1999, abrange uma área de 3.909,60 hectares e localiza-se no Município de Paracuru (Figura 6.2).

APA do Estuário do Rio Cocó, unidade de conservação de uso sustentável criada por meio do Decreto Nº 25.413, de 29 de março de 1999, abrange uma área de 2.744,89 hectares e localiza-se na divisa dos Municípios de Fortaleza e Caucaia,

Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, criado através da Lei Estadual Nº 12.717 de 05 de Setembro de 1997. É a única Unidade de Conservação Marinha do Estado do Ceará, com uma área de 33,20 km² distante a 10 milhas náuticas (aproximadamente 18,5 km) do Porto do Mucuripe, em Fortaleza, na direção 60° NE (sessenta graus nordeste).

Parque Ecológico do Cocó, a área do Parque Ecológico do Cocó abrangida pelos Decretos Nº 20.253, de 05 de Setembro de 1989 e Nº 22.587, 08 de Junho de 1993, compreende o trecho da BR-116 à foz do Rio Cocó, localizado no Município de Fortaleza, Estado do Ceará, perfazendo um total de 1.155,2 hectares.

APA do Rio Pacoti, unidade de conservação de uso sustentável criada por meio do Decreto Nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, abrange uma área de 2.914,93 hectares e localiza-se em áreas dos Municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz.

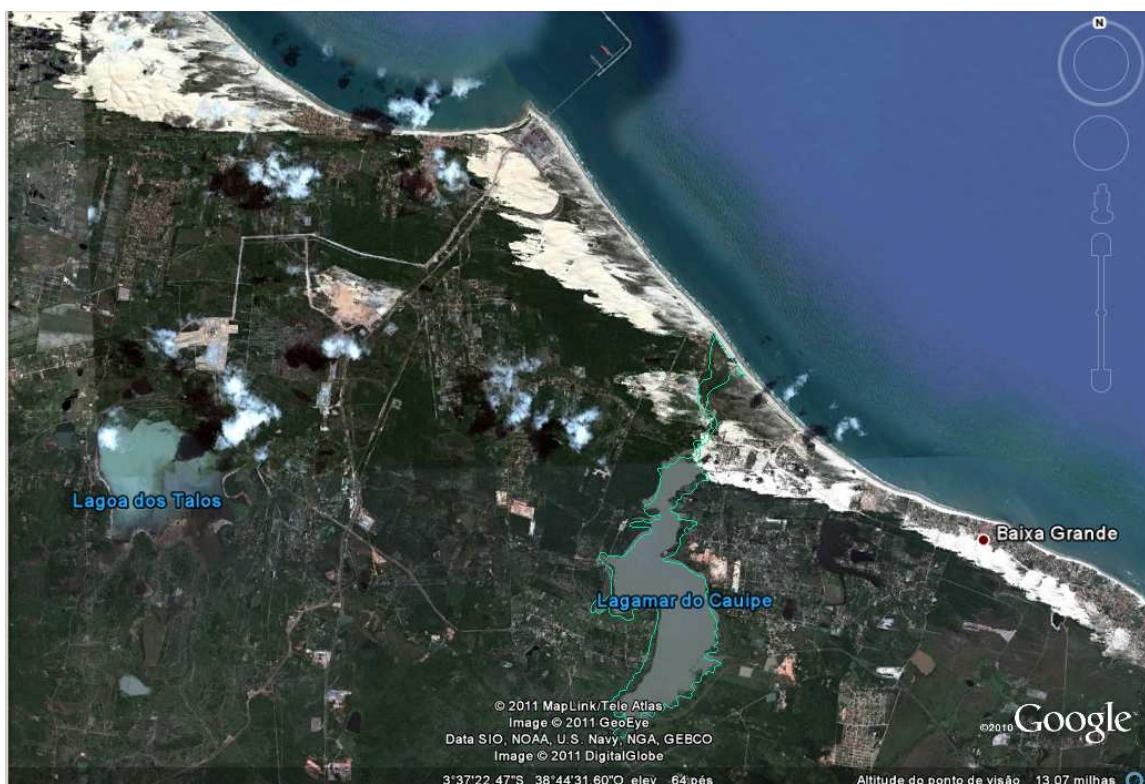


Figura 6.1 – Área de Preservação Ambiental (APA) do Lagamar do Cauípe. Fonte: DNPM, SEMACE.
Imagem: Google Earth.

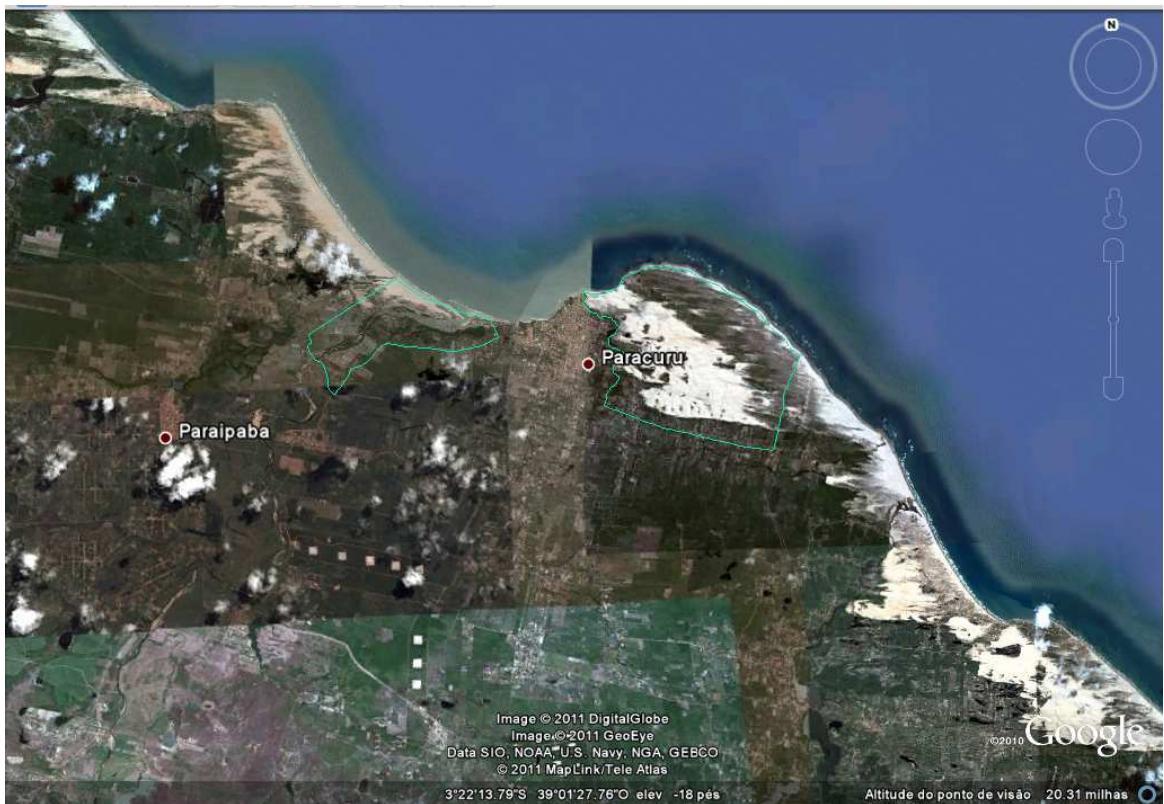


Figura 6.2 – Áreas de Preservação Ambiental (APA) das Dunas de Paracuru e Estuário do Rio Curu.
Fonte: DNPM, SEMACE. Imagem: Google Earth.



Figura 6.3– Área de Preservação Ambiental (APA) da Serra da Aratana. Fonte: DNPM, SEMACE.
Imagem: Google Earth.

6.2.6. Resolução CONAMA N° 428/2010

Em 20/12/2010 foi publicada a Resolução do CONAMA nº 428/2010 que trouxe algumas novidades relativas ao licenciamento ambiental em Unidades de Conservação, ressaltando:

1 - A Resolução CONAMA 428/2010 se aplica às UCs criadas até a data de requerimento da licença ambiental.

2 - (Art. 1º) O licenciamento de empreendimentos de significativo impacto ambiental que possam afetar Unidade de Conservação (UC) específica ou sua Zona de Amortecimento (ZA), só poderá ser concedido após autorização do órgão responsável pela administração da UC ou, no caso das Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN), pelo órgão responsável pela sua criação.

Durante o prazo de cinco anos, contados a partir da publicação da Resolução, o licenciamento de empreendimento de significativo impacto ambiental, localizados numa faixa de três mil metros a partir do limite da UC, cuja ZA não esteja estabelecida, sujeitar-se-á ao procedimento previsto acima, com exceção de RPPNs, Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e Áreas Urbanas Consolidadas.

3 - (Art. 2º) A autorização de que trata a Resolução deverá ser solicitada pelo órgão ambiental licenciador, antes da emissão da primeira licença prevista, ao órgão responsável pela administração da UC que se manifestará conclusivamente após avaliação dos estudos ambientais exigidos dentro do procedimento de licenciamento ambiental, no prazo de até 60 dias, a partir do recebimento da solicitação.

O órgão ambiental licenciador deve, antes de emitir os termos de referência do EIA/RIMA, consultar formalmente o órgão responsável pela administração da UC quanto à necessidade e ao conteúdo exigido de estudos específicos relativos a impactos do empreendimento na UC e na respectiva ZA, o qual deve se manifestar no prazo máximo de 15 dias úteis, contados do recebimento da consulta.

- Os estudos específicos a serem solicitados deverão ser restritos à avaliação dos impactos do empreendimento na UC ou sua ZA e aos objetivos de sua criação.
- O órgão responsável pela administração da UC facilitará o acesso às informações pelo interessado.
- Na existência de Plano de Manejo da UC, devidamente publicado, este deverá ser observado para orientar a avaliação dos impactos na UC específica ou sua ZA.
- Na hipótese de inobservância do prazo previsto de 60 (sessenta) dias no *caput*, o órgão responsável pela administração da UC deverá encaminhar ao órgão licenciador e ao órgão central do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) a justificativa para o descumprimento.

4 – (Art. 3º) O órgão responsável pela administração da UC decidirá, de forma motivada:

- I – pela emissão da autorização;
- II – pela exigência de estudos complementares, desde que previstos no termo de referência;
- III – pela incompatibilidade da alternativa apresentada para o empreendimento com a UC;
- IV – pelo indeferimento da solicitação.

- Os estudos complementares deverão ter todo seu escopo definido uma única vez, sendo vedada, após essa oportunidade, a solicitação de novas demandas, salvo quando decorrerem das complementações solicitadas.
- A não apresentação dos estudos complementares específicos, no prazo acordado com o empreendedor para resposta, desde que não justificada, ensejará o arquivamento da solicitação de autorização.
- A contagem do prazo para manifestação do órgão responsável pela administração da UC será interrompida durante a elaboração dos estudos complementares específicos ou preparação de esclarecimentos, sendo retomada, acrescido de mais 30 dias, em relação ao prazo original, se necessário.
- Em caso de indeferimento da autorização, o empreendedor será comunicado pelo órgão ambiental licenciador e poderá requerer a revisão da decisão.
- Na hipótese do inciso III poderão ser apresentadas, pelo empreendedor, alternativas ao projeto em análise que busquem compatibilizar o empreendimento com a UC e sua ZA.

Caso o empreendimento de significativo impacto ambiental afete duas ou mais UC de domínios distintos, caberá ao órgão licenciador consolidar as manifestações dos órgãos responsáveis pela administração das respectivas UC.

Nos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA/RIMA o órgão ambiental licenciador deverá dar ciência ao órgão responsável pela administração da UC, quando o empreendimento:

I – puder causar impacto direto em UC;

II – estiver localizado na sua ZA;

III – estiver localizado no limite de até dois mil metros da UC, cuja ZA não tenha sido estabelecida no prazo de até 5 anos a partir da data da publicação desta Resolução.

- Os órgãos licenciadores deverão disponibilizar na rede mundial de computadores as informações sobre os processos de licenciamento em curso.
- Nos casos das Áreas Urbanas Consolidadas, das APA e RPPN, não se aplicará o disposto no inciso III.
- Nos casos de RPPN, o órgão licenciador deverá dar ciência ao órgão responsável pela sua criação e ao proprietário.
- Os órgãos ambientais licenciadores estaduais e municipais poderão adotar normas complementares, observadas as regras gerais desta Resolução.

6.3 – TERRAS INDÍGENAS

A oficialização das Terras Indígenas é um assunto que é tratado pelo Art. 2º do Decreto nº 1.775/1996 e que, em linhas gerais, estabelece que um grupo especializado designado pela FUNAI deve realizar estudos técnicos antropológicos e o levantamento fundiário necessários à delimitação da TI. Concluídos os trabalhos de **identificação e delimitação** o grupo apresenta relatório à FUNAI caracterizando a terra indígena a ser demarcada e, estando o processo devidamente instruído o Ministro da Justiça **declara**, mediante portaria, os limites da terra indígena, determinando a sua demarcação. Finalizando todo o processo, a Terra Indígena é homologada por Decreto Presidencial.

Na Região Metropolitana de Fortaleza, há três Terras Indígenas, envolvendo uma superfície de 8.233 ha, em dois diferentes graus de oficialização.

Terra Indígena Pitaguary (Figura 6.4)

Povos: Pitaguary, Tapeba, Anacé.

Situação Atual: **DECLARADA** pela Portaria do Ministro da Justiça nº 2.366, DOU de 18/12/2006.

Extensão da área: 1.735 ha

População: 2.740 (2011)

Município de localização: Maracanaú e Pacatuba

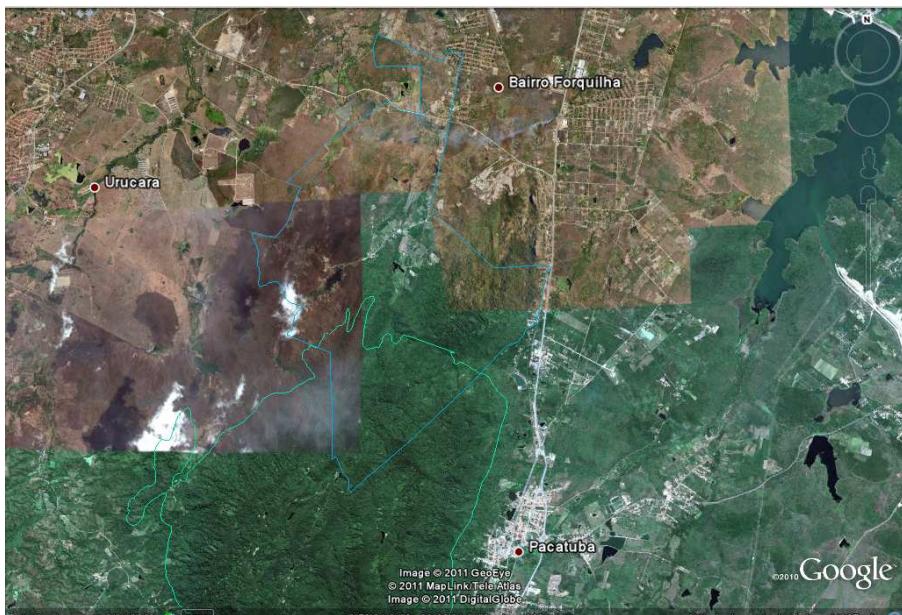


Figura 6.4 – Terra Indígena Pitaguary (limite ao sul com a APA da Serra da Aratanha). Fonte: DNPM, FUNAI, Instituto Sócio Ambiental. Imagem: Google Earth.

Terra Indígena Lagoa Encantada (Figura 6.5)

Povos: Jenipapo-Kanindé

Situação Atual: **DECLARADA** pela Portaria do Ministro da Justiça nº 184, DOU de 24/03/2011.

Extensão da área: 1.731 ha

População: 304 (2011)

Município de localização: Aquiraz

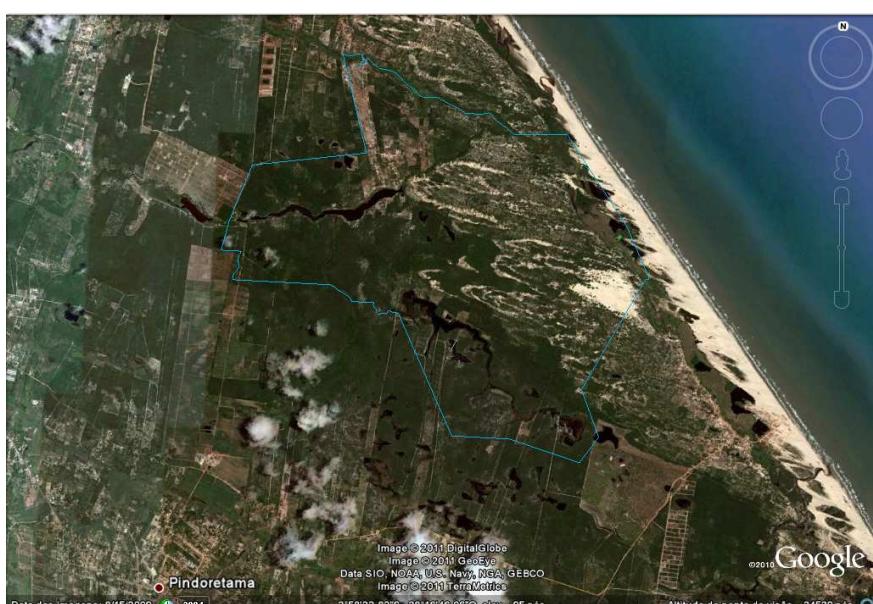


Figura 6.5 – Terra Indígena Lagoa Encantada. Fonte: DNPM, FUNAI, Instituto Sócio Ambiental. Imagem: Google Earth.

Terra Indígena Tapeba (Figura 6.6)

Povos: Jenipapo-Kanindé, Tapeba, Anacé

Situação Jurídica Atual: **IDENTIFICAÇÃO** (processo teve que ser reiniciado)

Extensão da área: 4.767 ha

População: 6.542 (2011)

Município de localização: Caucaia.

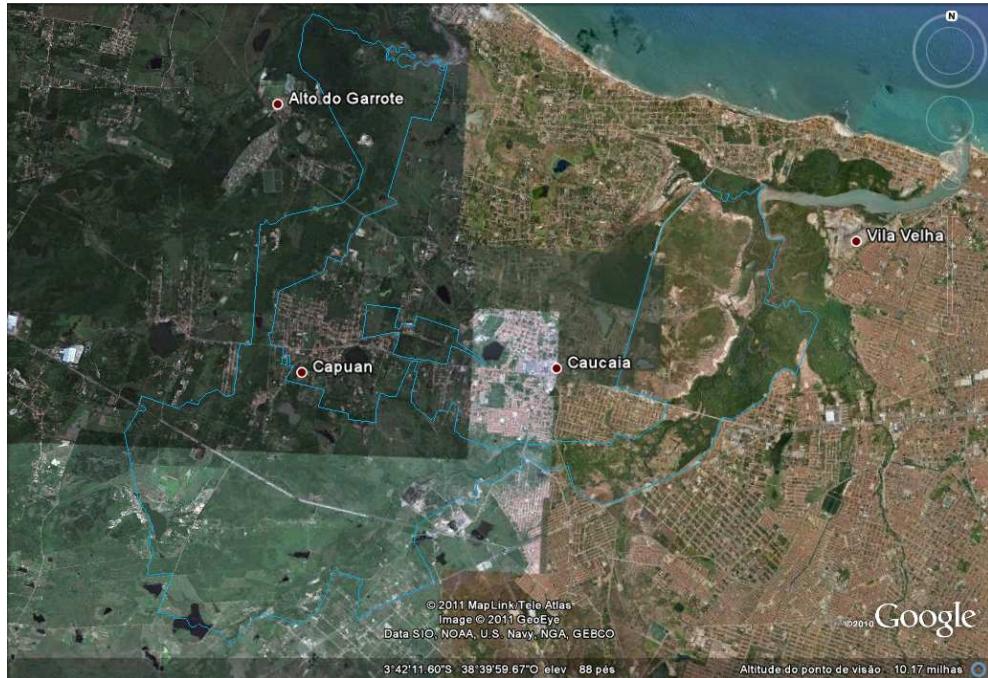


Figura 6.6 – Terra Indígena Tapeba. Fonte: DNPM, FUNAI, Instituto Sócio Ambiental. Imagem: Google Earth.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 - CONCLUSÕES

1. A distribuição das áreas de lavra e unidades de britagem na RMF em 2010 se comparadas a 1996, quando da execução do Plano Diretor de Mineração, permanecem, praticamente, inalteradas, destacando-se cinco áreas produtoras de brita, ou seja: Caucaia, Itaitinga, Pacatuba, Maranguape-Maracanaú e Eusébio.
2. Em 2010, ao contrário de 1996, quando praticamente toda a areia grossa consumida na RMF era extraída em seu interior, os maiores polos de extração estão localizados no entorno da RMF. O esgotamento das jazidas de areia natural no interior da RMF deve-se tanto a exaustão das reservas e a contaminação das fontes de material pela poluição quanto às crescentes restrições ambientais à extração de areia em várzeas e leitos de rios. Em consequência, as novas áreas de extração estão cada vez mais distantes do centro consumidor, o que faz com que, atualmente, grande parte da areia consumida esteja sendo extraída a mais de 100 km de distância de Fortaleza, o que encarece o produto e onera o consumidor, inclusive o poder público, um dos principais consumidores deste tipo de produto, para as suas obras de infraestrutura.
3. A areia fina utilizada, por muitos anos, na fabricação de argamassas na RMF era a denominada “areia vermelha” que foi gradualmente sendo substituída pelo “arisco”, material hoje amplamente utilizado. Nos ensaios realizados para verificação da qualidade da areia fina (arisco) utilizada atualmente na fabricação de argamassas na RMF, a maioria das amostras ficou fora das especificações, sendo imprescindível, antes de sua utilização, verificar a sua adequabilidade através da confecção de painéis experimentais, para observação visual, além da realização de ensaios de desempenho.
4. A pressão causada pela enorme demanda reprimida está fazendo o setor produtor de brita trabalhar num limite muito próximo da sua capacidade nominal - considerando o crescimento atual da demanda, antes mesmo de 2015, as empresas do setor já estarão trabalhando na sua capacidade plena de produção. No entanto tranquiliza a constatação dos depósitos se mostrarem suficientes para muitas décadas.
5. No Serrote de Itaitinga o fato de várias pedreiras estarem em atividade sem nenhum planejamento conjunto das várias frentes de lavra, todas concentradas numa área de aproximadamente 2 km², inserida na área urbana da sede do município, deverá ocasionar uma redução significativa da vida útil da jazida.
6. O setor produtor de areia, embora mais profissionalizado e formalizado do que há 10 anos, por ainda deter mesmo assim um alto grau de informalidade (como de resto em todo o país) não permite uma avaliação melhor do potencial produtor das empresas que o compõem. No entanto não há perigo para o abastecimento da região dado que as informações geológicas disponíveis indicam depósitos substanciais num raio de 100 km de Fortaleza.

7.2 – RECOMENDAÇÕES

1. A realização de projetos de pesquisas com o objetivo de viabilizar o aproveitamento de alternativas tecnológicas para substituição total ou parcial da areia utilizada como

agregado miúdo na fabricação de argamassas e concreto na RMF, sendo, entre as várias opções apresentadas, o uso de areia de britagem e de areia marinha alternativas bem atrativas. A areia de brita será produzida em unidades de britagem já instaladas, sendo a distribuição granulométrica, a forma angulosa das partículas e, principalmente, o excesso de microfílos, questões que ainda precisam ser mais bem estudadas para seu aproveitamento na RMF. O agregado marinho, pela localização da RMF na zona costeira, poderá ser extraído e desembarcado em áreas localizadas em seu interior, evitando longas distâncias de transporte terrestre, e quanto à qualidade do material, a realização de pesquisas de caracterização tecnológica seria fundamental para viabilizar o aproveitamento desse insumo, que se constitui em uma importante contribuição a demanda de agregados em vários países do mundo.

2. A execução de um projeto de ordenamento territorial da mineração no Serrote da Itaitinga, incluído o descomissionamento das minas, com a participação de órgãos federais, estaduais e municipais relacionados à mineração, meio ambiente e planejamento urbano.
3. A questão da informalidade da areia deve ser bem avaliada em conjunto por todos os órgãos afetos ao setor produtor nas três esferas da administração pública (DNPM, Ibama, SEMACE, Secretaria Estadual de Fazenda e Prefeituras...). Um setor que produziu mais de 2,5 milhões de toneladas em 2010, o equivalente a 130.000 carretas de 12m³, predominantemente informal, pode causar problemas sérios que vão muito além da mineração ilegal e sonegação de CFEM, como graves danos ambientais e sonegação fiscal.
4. Foi recomendado, quando da elaboração do Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza – PDM/RMF, em 1998, que se estabelecesse uma faixa de proteção para as pedreiras, “*com o intuito de preservar, em particular, a atividade de mineração nas pedreiras bem como a segurança e o conforto das comunidades vizinhas*”. Observamos neste trabalho que os recursos minerais disponíveis para produção de brita são suficientes para várias décadas, no entanto se não houver um adequado ordenamento da urbanização na região metropolitana, casos como o de Itaitinga, que se formou no entorno de uma pedreira e hoje está asfixiando a mesma pedreira, ou do Eusébio, onde a urbanização chegou muitos anos após a instalação da unidade de produção de brita e não observou aquela grave peculiaridade, poderão se repetir. Há a necessidade urgente de se oferecer moradias à população, mas não existem moradias, nem ruas ou avenidas, sem os agregados.
5. Permanece a recomendação feita no PDM/RMF para que haja um maior disciplinamento das prefeituras no licenciar atividades de extração mineral na forma da lei 6.567/1978. Observando ainda que na forma do artigo 6º, parágrafo único da mesma lei, “*incumbe à autoridade municipal exercer vigilância para assegurar que o aproveitamento da substância mineral só se efetive depois de apresentado ao órgão local competente o título de licenciamento de que trata este artigo*.”

8. REFERÊNCIAS

8.1 - BIBLIOGRÁFICAS

- AUGRIS, C. & CRESSARD, A.P. 1984. *Les granulats marins*. CNEXO, 1984, 89p. (Rapports scientifiques et techniques, 51).
- BAUER, L. A.F. 1995. *Materiais de construção*. Rio de Janeiro, LTC, 5. ed., 1995. v.1.
- 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. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. 1998. Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza. Brasília, MME/SMM/DNPM/CPRM, 192p. (Série Difusão Tecnológica, nº 7)
- CAMPOS, E.E.; FRAZÃO, E.B.; CALAES, G.D. & HERRMANN, H. 2007. *Agregados para a construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas*. Organização: Marcos Bartasson Tannus e João Cesar Cardoso do Carmo, Belo Horizonte, MME/SGM, CETEC, 234p.
- CARASEK, H. 2005. Argamassas. In: ISAIA, G.C. (Ed.). *Materiais de construção civil*. IBRACON, 2005 (Capítulo 26).
- CAVALCANTI, V.M.M. 1998. A qualidade das areias marinhas para utilização como agregado na construção civil, na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1998, 87p. (Dissertação de Mestrado)
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1983. *Reestudo dos critérios de análise do incômodo causado aos indivíduos por vibrações*. São Paulo, 51p.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2003. *Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará – Escala 1:500.000*. MME / SMM/CPRM. Mídia em CD.
- CUCHIERATO, G.; SBRIGHI, C. & QUITETE, E.B. 2005. A revisão das normas ABNT de agregados: NBR 7211 e NBR 9935 – Quais as alterações nas terminologias e especificações para finos de pedreiras. *Areia & Brita*, Abril/Maio/Junho, 2005, 30:10-12.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2010. *Anuário Mineral Brasileiro - Ano Base 2009. No prelo*.
- FERREIRA, G.C.; DAITX, E.C. & DALLORA NET, C. 2006. Impactos ambientais associados a desmonte de rochas com uso de explosivos. São Paulo, UNESP, *Geociências*, 25 (4)467-473, 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010a. *Censo Demográfico 2010*. Brasília. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/populacao_por_municipio.shtml. Acesso em 22/02/2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010b. *Produto Interno Bruto dos Municípios 2004-2008*. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/> 2004_2008/. Acesso em 22/02/2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2002. *Área territorial oficial*. Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02). http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtml. Acesso em 22/02/2011.
- IPECE. 2009. *Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF*. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/125x.htm>. Acesso em 06/10/2011
- IPET - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1982. Características tecnológicas das areias do Estado de São Paulo. Regiões administrativas 1 e 3. Relatório 17736 para SICCT, São Paulo.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. 1994. *Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo, Editora PINI, 1a. ed., 573 p.
- MENDES, K.S. & BLASQUES JUNIOR, M. 2002. Areias: o uso de normas técnicas como parâmetro de qualificação do produto. *Areia & Brita*, ANEPAC, janeiro/fevereiro/março, São Paulo, 17:34-37.
- MENDONÇA, R. & RODRIGUES, G. 2008. Uso adequado da escória de aciaria – parte 1. *Siderurgia Brasil*, Edição 47, 2008.
- MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, C. A. S.; GUMIERI, A. G. & VASCONCELOS, W. L. 2006. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. *Cerâmica*, 52 (2006) 193-199.
- OHASHI, T. 2008. Areia de brita: panorama atual e novos desenvolvimentos. *Areia & Brita*, Julho/Agosto/Setembro, 2008, 43:18-21.

- PARAGUASSU, A.B. 1996. *Materiais inconsolidados e rochosos na construção civil; notas de aula*.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. 2000. Ranking decrescente do IDH-M dos municípios do Brasil. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. [http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/IDH-M%2091%2000%20Ranking%20decrescente%20\(pelos%20dados%20de%202000\).htm](http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/IDH-M%2091%2000%20Ranking%20decrescente%20(pelos%20dados%20de%202000).htm). Acesso em 22/02/2010.
- QUAGLIO, O.A. 2003. *Otimização da perfuração e da segurança nos desmontes de agregados através dos sistemas laser profile e boretrak*. Ouro Preto, UFOP/Escola de Minas, 152p. (Dissertação de Mestrado).
- SABBATINI, F.H. 1986. Agregados miúdos para argamassas de assentamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. *Anais...*, São Paulo, NEP/EPUSP, p.17-25.
- SANTOS, P. S. 1992. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2a.ed., V. 1 e 2.
- SBRIGHI, C. & BATTAGIN, I. L. S. 2002. *Precauções e limitações do uso de escórias como agregados na construção civil*. CPTI, São Paulo, 2002.
- SELMO, S.M.S. 1986. Agregados miúdos para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. *Anais...*, São Paulo, NEP/EPUSP, p.27-43.
- SOARES, J.M.D.; PINHEIRO, R.J.B & TAVARES, I.S. 2006. Mecânica dos Solos - Notas de Aula. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Tecnologia/ Departamento de Transporte, 230p.

8.2 – TEXTOS LEGAIS

Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em 31 10 2011.

Decreto-Lei

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 31 10 2011.

Lei Ordinária Federal

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.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6567.htm. Acesso em 31 10 2011.

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 31 10 2011.

Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989. Altera o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, cria o regime de permissão de lavra garimpeira, extingue o regime de matrícula, e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7805.htm. Acesso em 31 10 2011.

Lei nº 8.176, de 8 de fevereiro de 1991. Define crimes contra a ordem econômica e cria o Sistema de Estoques de Combustíveis.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8176.htm. Acesso em 31 10 2011.

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 31 10 2011.

Lei Complementar Federal

Lei Complementar Federal nº 14, de 08 de junho de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/Lcp14.htm. Acesso em 21/10/2011.

Lei Estadual (Ceará)

Lei Estadual nº 12.717, de 05 de Setembro de 1997. Cria o Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio e dá outras providências.

Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/institucional/procuradoria-juridica/legislacao/>. Acesso em 31/10/2011.

Decreto Federal

Decreto nº 1.775/1996, de 8 de janeiro de 1996. Dispõe sobre o procedimento administrativo de demarcação das terras indígenas e dá outras providências.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D1775.htm. Acesso em 31/10/2011.

Decreto nº 3.358 de 2 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.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3358.htm. Acesso em 31/10/2011.

Decreto nº 3.665, de 20 de novembro de 2000. Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105).

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3665.htm. Acesso em 24/10/2011.

Decreto Estadual (Ceará)

Decreto nº 20.253, de 05 de Setembro de 1989. Declara de interesse social para fins de desapropriação as áreas de terra que indica e dá outras providências.

Decreto nº 22.587, 08 de Junho de 1993. Declara de interesse social para fins de desapropriação as áreas de terra que indica e dá outras providências.

Decreto Nº 24.957, de 05 de junho de 1998. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção Ambiental - APAs do Lagamar do Cauípe, no município de Caucaia, e do Pecém, em São Gonçalo do Amarante, e adota outras providências.

Decreto nº 24.959, de 5 de junho de 1998. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Serra de Aratanha, nos municípios de Maranguape, Pacatuba e Guaiúba, e adota outras providências.

Decreto nº 25.416, de 29 de março de 1999. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Curú, localizada nas divisas dos municípios de Paracuru e Paraipaba e adota outras providências.

Decreto nº 25.418, de 29 de março de 1999. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental - APA das Dunas de Paracuru, no município de Paracuru, e adota outras providências.

Decreto nº 25.413, de 29 de março de 1999. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará, localizada na divisa dos municípios de Fortaleza e Caucaia e adota outras providências.

Decreto nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti nos municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz e dá outras providências.

Todos disponíveis em: <http://www.semace.ce.gov.br/institucional/procuradoria-juridica/legislacao/>. Acesso em 31/10/2011.

Resolução

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 31 10 2011.

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 31 10 2011.

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 31 10 2011.

Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

Disponível em:<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em 28 10 2011.

Resolução CONAMA nº 307, de 05/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em 28/10/2011.

Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em 28/10/2011.

Resolução CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de 2010/2010. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>. Acesso em 31 10 2011.

Portaria

Portaria DNPM nº 112, de 31 de março de 2010. Atualiza os valores dos emolumentos, da Taxa Anual por Hectare (TAH), das multas, das vistorias e dos demais serviços prestados pelo DNPM.

Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=614>.

Acesso em 31/10/2011.

Normas Técnicas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1982. *C-144 – Standards specification for aggregate for masonry mortar.*

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1982. *C-294 - Standard descriptive nomenclature for constituents of natural mineral aggregates.*

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1982. *C- 897 - Standard Specification for Aggregate for Job-Mixed Portland Cement-Based Plasters.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1995. *NBR 6502 - Rochas e solos.* ABNT, set/1995, 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1998. *NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.* ABNT, agosto/1998, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1983. *NBR 7211 - Agregado para concreto - Especificação.* ABNT, maio/1983, 9p. (substituída por NBR 7211:2009)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2009. *NBR 7211 - Agregado para concreto - Especificação.* ABNT, maio/2009, 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2010. *NBR 7218 - Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis.* ABNT, fevereiro/2010, 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992. *NBR 7389 - Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto.* ABNT, novembro/1992, 7p. (Cancelada em 05/08/2009, substituída por NBR 7389 partes 1 e 2)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2009. *NBR 7389 - Agregados - Análise petrográfica de agregado para concreto parte 2: Agregado graúdo.* ABNT, setembro/2009, 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2008. *NBR 7809 Versão Corrigida 2008 - Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio.* ABNT, junho/2006, 3p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2009. *NBR 9917 - Agregados para concreto-Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis*. ABNT, março/2009, 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2005. *NBR 9653 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas*. ABNT, setembro/2005, 11p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2008. *NBR 15577 – Agregados – Reatividade álcali-agregado parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto*. ABNT, maio/2008, 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2009. *NBR NM 26 – Agregados – Amostragem*. ABNT, Norma MERCOSUL, novembro/2009, 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2006. *NBR NM 45 - Agregado graúdo - Determinação da Massa Unitária e do volume de vazios*. ABNT, Norma MERCOSUL, abril/2006, 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2003. *NBR NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 .m, por lavagem*. ABNT, Norma MERCOSUL, jul/2003, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2001. *NBR NM 49 - Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas*. ABNT, Norma MERCOSUL, 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2001. *NBR NM 51 - Agregado graúdo - Ensaio de Abrasão Los Angeles*. ABNT, Norma MERCOSUL, maio/2001, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2009. *NBR NM 52 – Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. ABNT, Norma MERCOSUL, outubro/2009, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2003. *NBR NM 53 – Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. ABNT, Norma MERCOSUL, julho/2003, 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2003. *NBR NM 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica*. ABNT, Norma MERCOSUL, julho/2003, 6p.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1977. *Document Technique Unifié n.º 21.4 - Prescriptions techniques concernant l'utilisation du chlorure de calcium et des adjuvants contenant des chlorures, dans la confection des coulis, mortiers et bétons*. In: Recueil de normes françaises du bâtiment et travaux publics, granulats. Paris.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1983. *NF P 18-301 - Granulats. Granulats naturels pour bétons hydrauliques*. In: Recueil de normes françaises du bâtiment et travaux publics, granulats, AFNOR, Paris.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. 1976. *BS 1200 - Standards specification for sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwalling and masonry*.

