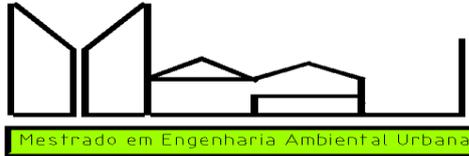




UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA



ENG. ELZIMAR VENTURA ESTEVES MARTINS

**AVALIAÇÃO DO USO DE AREIA BRITADA PRODUZIDA PELA COMINUIÇÃO
DE ROCHAS GRANULÍTCAS, VISANDO UTILIZAÇÃO EM FILTROS DE OBRAS
DE TERRA**

SALVADOR
2012

ENG. ELZIMAR VENTURA ESTEVES MARTINS

**AVALIAÇÃO DO USO DE AREIA BRITADA PRODUZIDA PELA COMINUIÇÃO
DE ROCHAS GRANULÍTIAS, VISANDO UTILIZAÇÃO EM FILTROS DE OBRAS
DE TERRA**

Trabalho de conclusão apresentado
como requisito parcial a obtenção de
Mestrado em Engenharia Ambiental
Urbana da Escola Politécnica da
Universidade da Bahia.

Orientadores: Luiz Edmundo Prado de Campos/Amalvina Costa Barbosa

SALVADOR
2012

ENG. ELZIMAR VENTURA ESTEVES MARTINS

**AVALIAÇÃO DO USO DE AREIA BRITADA PRODUZIDA PELA COMINUIÇÃO
DE ROCHAS GRANULÍTIICAS, VISANDO UTILIZAÇÃO EM FILTROS DE OBRAS
DE TERRA**

Prof. Luiz Edmundo Prado de Campos
ORIENTADOR

Doutora Amalvina Costa Barbosa
ORIENTADORA

BANCA EXAMINADORA

Examinador

Examinador

Examinador

Agradeço à minha avó e professora Francisca Hermes Soares Ventura Esteves, minha mãe e professora Elza Ventura Esteves Martins, minha esposa e professora Ângela Maria Bittencourt Araújo Martins.

Aos amigos Luiz Antônio Mameri, professora Romélia Santos, Roberta Matos Coelho Quintanilha e Sr. Marcos Oliveira Quintanilha.

AGRADECIMENTOS

À Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, em especial aos colegas:

Professor Luis Edmundo Prado de Campos
Professora e Doutora Amalvina Costa Barbosa
Professor Paulo César Burgos
Engenheiro Paulo André Oliveira Libonacti
Professora e Doutora Yara Brandão
Sra. Livia Oliveira Santos
Sr. José Pedro Amich Bessa
Sra. Mariana Leite Cunha
Sr. Armando José da Silva
Sr. José Mágnio da Silva Sobrinho
Sr. Júlio Barros Muniz

Todos os demais Ilustres Professores, Coordenadores e Colaboradores do MEAU

E aos incansáveis e destemidos Estagiários Rafael de Carvalho Souza e Iuri Channakian.

Ao Grupo Pedreira Parafuso, em especial ao Presidente Engenheiro Vitor de Araújo Almeida.

Diretor Engenheiro Rodrigo Araújo Almeida

Diretor Administrativo Ricardo Santos de Azevedo

Ao Consultor Francisco Holanda Gladston, da Empresa Holanda Engenharia e seus colaboradores Andriara de Carvalho Vieira e Willian Ribeiro Fernandes.

Ao Consultor Francisco Andriolo por sua inestimável ajuda e incentivo.

Ao Engenheiro Carlos H. Valente, Diretor da MINTEC, por sua inicial apresentação ao tema.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Engenheiro Cícero de Carvalho Monteiro, Secretário de Governo da SEDUR

Ao Engenheiro Bento Ribeiro Filho, Presidente da Companhia de Engenharia Rural da Bahia

Ao Engenheiro Jorge Luis Gonçalves Faria, Diretor de Produção da CERB

Ao Advogado Washington Rodrigues de Miranda, Diretor Administrativo da CERB

Ao Engenheiro Paulo Eduardo Pinheiro Santos

Ao Nobre Sr. Rudimar Oliveira Mota

Ao Engenheiro Pedro Fabiano Nunes da Silva

Ao Engenheiro Francisco Eugênio Barreto Serra

À Química Marildes Bacelar Almeida

Ao Agrônomo Luciano Figueiredo Calmom

À Engenheira Hidróloga Maria Auxiliadora Prado Benevides

Ao Engenheiro André Luis Lira de Magalhães

À Engenheira Luciene Almeida Fraga Torres

À Engenheira Ladjane Melo Braga

À Advogada Luzia Manuela Silva Viana de Castro

Ao Engenheiro Joel Barbosa dos Santos

À Distinta Senhora Marizete Silva Santana

À Distinta Senhorita Elis Regina Calmon da Silva

À Distinta Senhorita Carla Requião dos Santos

À Distinta Senhorita Ana Maria Fernandes

À Distinta Senhorita Mariza Helena Souza Viana

À Distinta Senhorita Maylan Passos Oliveira

E aos demais destemidos funcionários da Cia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia...

Ao Prof. Dr. José Vicente Cardoso Santos por sua colaboração gráfica na reta final do trabalho...

Um ser humano só cumpre o seu
dever quando tenta aperfeiçoar os
dotes que a natureza lhe deu...

Hermann Hesse

RESUMO

A pesquisa avalia a utilização da areia britada como substituto total ou parcial da areia natural, em filtros de obras de terra. A areia britada utilizada é aquela obtida pela cominuição de rochas do embasamento de Salvador, na planta de britagem das Pedreiras Parafuso. Fazem parte do fluxo de britagem 01 circuito primário, com 02 britadores de mandíbula; 01 circuito secundário, com 01 rebritador cone de 400 HP; 01 circuito terciário, com 01 rebritador VSI de 600 HP. As areias britadas foram submetidas aos estudos granulométricos, em conformidade com as normas da ABNT e ASTM. A amostragem foi feita nas pilhas de estoques e as observações coletadas foram submetidas aos ensaios de permeabilidade, durabilidade, compactidade, equivalente de areia, abrasão Los Angeles, compressão simples, meteorização de rochas, petrografia e mineralogia. Os resultados obtidos foram tratados e interpretados, tornando possível sugerir uma metodologia para o aproveitamento dos finos produzidos nas operações de britagem da Pedreiras Parafuso.

Palavras-chave: Britadores; Ensaio; Finos; Granulometria.

ABSTRACT

This research work evaluates the use of manufactured sand as a full or partial substitute for natural sand, in earthwork filters. The manufactured sand used is the one obtained by the comminution of the rocks from Salvador's basement, in Pedreiras Parafuso's crushing plant. Its crushing process is made by a primary circuit, with two jaw crushers, a secondary circuit with a 400 hp cone crusher, and a tertiary circuit with a 600 hp VSI crusher. The manufactured sand was submitted to optical granulometric studies, in conformity with the ABNT and ASTM standards. Sampling was carried out in the stockpiles, and the data were subjected to the tests of permeability, durability, compactness, sand equivalence, L.A. abrasion, simple compression, rock weathering, petrography and mineralogy. The results were dealt and interpreted, making it possible to suggest a methodology for the utilization of the material produced in Pedreira Parafuso's crushing operations.

Keywords: crusher, Essays, Fine, Fineness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Seção transversal de um dreno profundo longitudinal.....	22
Figura 2 Seção transversal de um dreno profundo longitudinal, mostrando a infiltração pela superfície de rolamento.	23
Figura 3 Seção transversal de um dreno sub-horizontal em talude protegido por cortina atirantada.	24
Figura 4 Seção transversal de um dreno sub-horizontais em túnel.	24
Figura 5 Drenos verticais vistos em planta (estacas de areia).	25
Figura 6 Drenos verticais (Figura 5), vista em perfil.	25
Figura 7 Seção transversal de um dreno vertical “Poço de Alívio”.	26
Figura 8 Seção transversal de um colchão drenante.....	26
Figura 9 Seção transversal-tipo, barragem de Itumbiara (ABMS/ABGE). Captação através de dreno chaminé.....	27
Figura 10 Representação de curvas granulométricas mostrando o padrão de distribuição dos tamanhos dos grãos.....	29
Figura 11 Escalas Granulométricas adotadas pela A.S.T.M., A.A.S.H.T.O, M.I.T e ABNT. .	29
Figura 12 Gráfico diâmetro x percentagem de material passante	30
Figura 13 Gráfico da variação da velocidade com a mudança do gradiente hidráulico no escoamento laminar.	38
Figura 14 Gráfico da variação do coeficiente de viscosidade com a temperatura.	40
Figura 15 Intervalos de variação dos valores de k para os diferentes tipos de solos.....	41
Figura 16 Seção transversal de um permeâmetro de nível constante.....	43
Figura 17 Seção transversal-tipo da Barragem do Vigário, atual Karl Terzaghi onde foi utilizado, pela primeira vez, um dreno vertical.	46
Figura 18 Seções-tipo de barragens de terra mostrando a evolução do sistema de drenagem interna.	47
Figura 19 Fluxograma padrão de uma pedreira mostrando a produção de britas desde a lavra até produto final.....	53
Figura 20 Seção-tipo de um britador de mandíbulas.....	54
Figura 21 Seção tipo de um britador cone.....	54
Figura 22 seção tipo de uma peneira vibratória.....	55
Figura 23 Seção tipo de um britador VSI autógeno	56
Figura 24 Horizontes do manto de intemperismo, identificados nas Pedreiras Parafuso (ver o horizonte 4 na Figura 25).....	60
Figura 25 Mostrando contato entre solo e rocha.	61
Figura 26 Operação de decapagem nos horizontes 1 e 2.....	62
Figura 27 Fragmentação de blocos de rocha com rompedor hidráulico.....	64

Figura 28 Fluxograma da britagem primária.....	65
Figura 29 Fluxograma padrão, Pedreiras Parafuso mostrando as etapas de britagem secundária e terciária.	66
Figura 30 Coleta de amostra da areia britada na pilha pulmão.	68
Figura 31 Quarteador, laboratório Holanda Engenharia	69
Figura 32 Curvas de distribuição Granulométrica das frações areia, antes da lavagem.	84
Figura 33 Curvas de distribuição Granulométrica das frações areia, após a lavagem.	86
Figura 34 Fotomicrografia do granulito básico. Notar os contatos curvos entre os grãos dos principais minerais formadores da rocha e o fraturamento.	102
Figura 35 Fotomicrografia do granulito ácido. Notar os contatos curvos entre os grãos dos principais minerais formadores da rocha e pequena intensidade do fraturamento.....	102
Figura 36 Fotomicrografia do diabásico (dique máfico). Notar maior intensidade de alteração dos minerais máficos.	103
Figura 37 Fotomicrografia representativa do piroxenito (corpo ultramáfico). Nota os contatos curvos e reentrantes entre os constituintes da rocha.....	104
Figura 38 Fotomicrografia da rocha ácida (dique granítico). Notar o grau de preservação dos constituintes da rocha.	104
Figura 39 Imagem obtida com a lupa binocular, da fração areia do VSI. Nota a maior uniformidade da granulometria e maior grau de esfericidade dos fragmentos.	106
Figura 40 Imagem obtida com a lupa binocular, da fração areia do cone. Nota a menor uniformidade da granulometria e menor grau de esfericidade dos fragmentos.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Frações obtidas na classificação granulométrica (ABNT NBR NM 6502/95).....	28
Tabela 2 Escala Granulométricas da A.S.T.M.	31
Tabela 3 Peneiras sucessivas com as seguintes aberturas, em milímetros:NBR NM 248.	32
Tabela 4 Classificação, porosidade e índice de vazios.....	35
Tabela 5 valores típicos de e_{min} e e_{max} para as areias	35
Tabela 6 Valores típicos do coeficiente de permeabilidade	43
Tabela 7 Dimensões mínimas recomendadas para os dispositivos de drenagem em barragem de terra.....	48
Tabela 8 Grau de resistência a compressão simples.....	58
Tabela 9 Grau de faturamento	58
Tabela 10 Relação da massa mínima necessária com a dimensão do agregado.....	70
Tabela 11 Relação da massa mínima com a dimensão do agregado.....	71
Tabela 12 Distribuição granulométrica	82
Tabela 13 Distribuição granulométrica após lavagem	85
Tabela 14 Parâmetros Granulométricos das curvas das areias	87
Tabela 15 Ensaio tecnológico da areia	88
Tabela 16 Peso específico real dos grãos de minerais.....	89
Tabela 17 Material Pulverulento	92
Tabela 18 Ciclagem artificial água-estufa.....	95
Tabela 19 Ciclagem acelerada com etilenoglicol	96
Tabela 20 Ciclagem acelerada com etilenoglicol	99
Tabela 21 Composição modal média obtida por estimativa, para os litotipos estudados	101
Tabela 22 Textura dos grãos que compõe as frações obtidas na britagem.....	106
Tabela 23 Análise das frações com a lupa binocular.....	107
Tabela 24 Percentual de material retido #200 (cone).....	107
Tabela 25 Morfoscopia das partículas cone, fração < #200	108
Tabela 26 Percentual de material retido #200 (VSI)	109
Tabela 27 Morfoscopia das partículas VSI, fração <#200	110

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Coefficiente de uniformidade (Cu).....	30
Equação 2	Coefficiente de curvatura do material.....	31
Equação 3	Umidade.....	34
Equação 4	Peso específico.....	34
Equação 5	Peso específico aparente.....	34
Equação 6	Índice de vazios.....	35
Equação 7	Índice de vazios.....	35
Equação 8	Porosidade.....	35
Equação 9	Porosidade.....	35
Equação 10	Grau de compactação relativo.....	36
Equação 11	Grau de compactação relativo.....	36
Equação 12	Velocidade real de percolação.....	37
Equação 13	Velocidade média aparente.....	39
Equação 14	Porosidade e o índice de vazios.....	39
Equação 15	Porosidade e o índice de vazios.....	39
Equação 16	Permeabilidade.....	39
Equação 17	Relação anti-piping.....	17
Equação 18	Permeabilidade.....	40
Equação 19	Permeabilidade.....	42
Equação 20	Permeabilidade.....	42
Equação 21	Permeabilidade: solos granulares.....	42
Equação 22	Coefficiente de permeabilidade.....	43
Equação 23	Perda de massa.....	44
Equação 24	Porcentagem de perda por abrasão.....	48
Equação 25	Equivalente de areia.....	49
Equação 26	Equivalente de areia.....	49
Equação 27	Equivalente de areia.....	49
Equação 28	Teor de materiais pulverulentos.....	73
Equação 29	Perda de massa.....	75
Equação 30	Perda de massa.....	76
Equação 31	Equivalente de areia.....	80
Equação 32	Equivalente de areia.....	82

LISTA DE SIGLAS

A.S.T.M. - American Society for Testing and Materials;
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
APF - Abertura na posição fechada;
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral;
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;
COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós-graduação e pesquisa de engenharia;
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais;
CV - Coeficiente de viscosidade;
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem;
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
EPUFBA - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia;
HRB - Highway Research Board;
INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos;
MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia;
MIT - Massachusetts Institute of Technology;
MPa - Mega Pascal;
NBR - Norma Brasileira;
pH - Potencial hidrogeniônico;
PVC - cloreto de polivinila;
TTG - tonalito- trondjhemito-granodiorito;
VSI - Vertical shift impact;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	19
1.2 JUSTIFICATIVA	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 CONCEITUAÇÃO	21
2.2 TIPOS DE SISTEMA DRENANTES EM OBRAS DE TERRA	22
2.2.1 Drenos lineares profundos longitudinais	22
2.2.2 Drenos sub-horizontais profundos	23
2.2.3 Drenos verticais	24
2.2.4 Drenos em camadas	26
2.2.5 Filtros de barragem	27
2.3 GRANULOMETRIA.....	27
2.3.1 Granulometria dos agregados	31
2.3.2 Peneiras	32
2.4 INDICES FÍSICOS DO SOLO.....	32
2.4.1 Teor de umidade do solo	33
2.4.2 Peso específico aparente do solo ($h \neq 0$)	33
2.4.3 Peso específico aparente do solo seco ($h=0$)	34
2.4.4 Índice de vazios	34
2.4.5 Grau de compactidade	36
2.5 PERMEABILIDADE	36
2.5.1 Fatores que influem na permeabilidade	39
2.5.2 Intervalo de variação do coeficiente de permeabilidade	41
2.5.3 Determinação do coeficiente de proporcionalidade de permeabilidade	42
2.5.4 Ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade	43
2.6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE FILTROS DE PROTEÇÃO	44
2.7 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA DE BARRAGENS	45
2.7.1 Dimensionamento de transições	48
2.7.2 Materiais utilizados na construção de filtros e transições das barragens de terra	49
2.8 PERENIDADE DOS FILTROS E TRANSIÇÕES	50
2.9 PRODUÇÃO DE AREIA BRITADA	51
2.10 OPERAÇÃO DE BRITAGEM.....	51
2.11 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES	57
2.11.1 Grau de alteração	57
2.11.2 Grau de resistência à compressão simples	57
2.11.3 Grau de consistência	58
2.11.4 Grau de fraturamento	58
2.12 ENSAIOS DE MINERALOGIA E PETROGRAFIA	59
3 MATERIAIS E MÉTODOS	60
3.1 EXTRAÇÃO.....	62
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA NATURAL E PROCESSO PRODUTIVO	67
3.3 AMOSTRAGEM	67
3.4 ENSAIO DE GRANULOMETRIA.....	69
3.5 MATERIAIS PULVERULENTOS - NBR NM 46.....	71

3.6	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE - NBR 13292.....	72
3.7	CICLAGEM ARTIFICIAL ÁGUA-ESTUFA - NBR 12696.....	74
3.8	CICLAGEM ACELERADA COM ETILENOGLICOL - NBR 12697	75
3.9	ENSAIO DE DURABILIDADE - DNER ME 089/94.....	77
3.10	ENSAIO LOS ÁNGELES - ABNT NBR NM 51	78
3.11	ENSAIO DE EQUIVALENTE DE AREIA - DNER ME 054/97.....	79
3.12	ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES - ABNT NBR 5564.....	81
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS	82
4.1	GRANULOMETRIA.....	82
4.2	DURABILIDADE MEDIANTE ALTERAÇÃO PELO SULFATO DE SÓDIO E MAGNÉSIO	88
4.3	MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS PASSANTES NA PENEIRA 4,8 mm...	89
4.4	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE	90
4.5	COMPACIDADE RELATIVA	90
4.6	EQUIVALENTE DE AREIA	91
4.7	MATERIAIS PULVERULENTOS	91
4.8	ÍNDICES DE VAZIOS MÁXIMO E MÍNIMO.....	92
4.9	ENSAIO DE METEORIZAÇÃO DE ROCHA.....	93
4.9.1	Ciclagem artificial água-estufa	93
4.9.2	Ciclagem acelerada com etilenoglicol.....	97
4.9.3	Ensaio Los Angeles	100
4.9.4	Ensaio de compressão simples.....	100
4.10	MINERALOGIA E PETROGRAFIA	100
4.10.1	Diques máficos.....	103
4.10.2	Corpos ultramáficos.....	103
4.10.3	Diques graníticos	104
4.10.4	Estudo das frações granulométricas através da lupa binocular	105
4.11	ANÁLISE DA ÁGUA	110
5	CONCLUSÕES.....	112
6	REFERÊNCIAS	115
7	ANEXO.....	120

1 INTRODUÇÃO

As imposições restritivas à liberação da exploração de jazidas de areia para utilização na construção civil, têm levado a comunidade técnica a pesquisar alternativas da substituição total ou parcial da areia natural, por um subproduto oriundo da cominuição de rochas e que é estocado em pilhas nas pedreiras. O produto estocado é comumente denominado pó de pedra. Estes estoques são indesejáveis ambientalmente, pois são fontes de poeira que polui o ar a níveis superiores ao permitido pelos órgãos ambientais. Por outro lado, durante o período de chuvas intensas, parte deste material estocado é carregado pelas enxurradas, obstruindo galerias e bueiros das vias próximas às pedreiras, além de necessitar cada vez mais área de estocagem. Existe também outro problema a considerar: a extração da areia obtida nos rios causa impactos sobre o meio ambiente, em consequência da retirada da cobertura vegetal e degradação dos cursos d'água. Por isto, esta atividade é coibida pelos órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente, visto que a exploração de areia é praticada próxima aos grandes centros urbanos.

O material denominado pó de pedra é um subproduto das pedreiras, oriundo da cominuição de rochas para produção de agregado para concreto. Classificado por peneiramento, é todo aquele passante na peneira de 4,8 mm. No Brasil, este material possui várias denominações, como: pó de pedra, finos de britagem, areia industrial e areia artificial. A comunidade científica internacional tende a denomina-lo areia britada, termo que será adotado no presente trabalho. São notáveis as pesquisas desenvolvidas por centros de comprovada excelência, como o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) do Ministério de Ciência e Tecnologia e o Departamento de Engenharia Civil e Metalurgia/Materiais da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Estes centros de excelência desenvolvem pesquisas visando viabilidade de produzir areia artificial a partir dos finos das pedreiras. Deste modo, buscam solucionar, numa única proposta, dois problemas ambientais distintos: aproveitar os finos das pedreiras e evitar a degradação dos cursos d'água.

As pesquisas desenvolvidas nos centros de excelência, a qualidade dos equipamentos de britagem, adequados às imposições exigidas pelos órgãos ambientais, a escassez dos depósitos de areia natural, contribuíram para a utilização, em larga escala, da areia britada na dosagem dos concretos de cimento Portland, na dosagem dos concretos asfálticos, nas camadas de base e sub base dos pavimentos flexíveis, e ainda no concretos compactados a

rolo, indispensáveis nas barragens galgáveis. É conveniente lembrar o grande salto de qualidade alcançado a partir do ano de 1990, pela indústria de fabricação de britadores, sendo lançado no mercado o britador VSI (Vertical Shaft Impact).

Atualmente, devido à escassez deste material e por imposições dos órgãos ambientais, pesquisadores, projetistas e construtores vem tentando substituir, parcialmente ou totalmente, a areia natural pela areia britada, nos filtros de barragens de terra, considerando apenas a distribuição granulométrica, não sendo observados os critérios como a durabilidade/alteração do material e a influência na perenidade dos filtros.

A grande maioria das barragens de terra brasileiras foi construída tendo como materiais usados em filtro, as areias naturais extraídas das calhas dos rios ou de dunas. Estas areias são constituídas principalmente por quartzo, que é um material resistente às intempéries e tem mostrado comportamento satisfatório até o presente momento.

Já a areia britada poderá ter grãos presentes na sua composição sujeitos ao intemperismo químico, que poderá afetar suas propriedades filtrantes, dependendo da constituição mineralógica da rocha original e das propriedades da água do reservatório de montante. Apesar disto, no estado de Santa Catarina, a Hidrelétrica de Itá, hoje em plena operação, é uma das barragens onde os filtros dos diques em terra foram construídos com areia britada. Na Bahia, a barragem de acumulação do França, no interior do estado, que é manancial do sistema de abastecimento de água de várias localidades como: Piritiba, Mundo Novo, Miguel Calmon, etc, os filtros foram construídos com areia britada. A Hidrelétrica de Tocoma, na Venezuela, cuja ombreira direita é uma estrutura de terra e enrocamento, utilizou areia britada nos filtros e transições.

Em todos os exemplos, o tratamento tecnológico dispensado ao material do filtro em areia britada foi o mesmo que seria dispensado para filtros projetados e construídos em areia natural. O tratamento tecnológico a que se refere na pesquisa, obedeceu aos critérios granulométricos de Terzaghi (1964).

Este trabalho visa contribuir para avaliar o uso de areia britada em lugar da areia natural. Os ensaios foram nos laboratórios de: Geotecnia da EPUFBA, Instituto de Geociências da UFBA, CEPED, Pedreiras Parafuso, LCL Engenharia e Consultoria e Holanda Engenharia. Os resultados foram obtidos a partir do estudo da areia produzida na planta de

britagem usando como estudo de caso as Pedreiras Parafuso, pela cominuição de rochas que constituem o embasamento da cidade de Salvador.

Foi analisada adequação granulométrica das areias britadas bem como suas características físicas (durabilidade, resistência aos esforços mecânicos) e químico-mineralógicos (resistência ao intemperismo químico), para utilização como filtro em obras de terra, principalmente em barragens.

1.1 OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo geral avaliar a possibilidade de uso da areia britada na construção de obras de terra, principalmente em barragens, diante da exaustão de jazidas de areia natural e exigências de órgãos ambientais em áreas urbanas e em áreas rurais.

Como objetivo específico pretende-se avaliar a possibilidade do uso da areia artificial obtida a partir do pó de pedra, resultado da cominuição de rochas através do britador VSI (Vertical Shift Impact), visando a sua utilização em filtros de obras de terra, verificando a adequação aos critérios especificados de granulometria, permeabilidade, equivalente de areia, sanidade, além da avaliação da composição mineralógica dos grãos que compõem o produto e seu processo de degradação. E também a determinação das características físicas e condições de alteração intempérica da rocha original.

A meta principal é apresentar alternativa técnica, ambiental e econômica, colaborando com pesquisadores, projetistas e construtores, viabilizando a utilização de areia britada em substituição à exploração de depósitos naturais, através de especificações de ensaios e procedimentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A pesquisa é plenamente justificada pela tendência de exaustão e proibição pelos órgãos ambientais, dos depósitos existentes de areia natural, não só em regiões urbanas, como nas regiões rurais, levando em conta o grande consumo de areia em diversas obras de

construção civil (residências, escolas, instalações de indústria) e em obras de infra-estrutura de transportes rodoviários e ferroviários, hidrelétricas, obras de irrigação, transposição de bacias hidrográficas. Deve-se ressaltar as condições econômicas em função das grandes distâncias de transporte, conseqüentemente aumento de custo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A utilização de areia britada em filtros de obra de terra sem o conhecimento da sua composição mineralógica e sem analisar adequadamente seu comportamento diante dos agentes do intemperismo não é consistente e pode significar risco incalculável. A escolha do estudo da areia britada em filtro de barragem se deve pela maior possibilidade de desagregação do material, uma vez que a utilização em concretos os agregados estão encapsulados.

O referencial teórico foi elaborado a partir de consultas a livros e manuais diversos, análise de artigos apresentados em congressos e seminários, leitura de revistas especializadas, análise de teses de doutorado e dissertações de mestrado que abordaram a substituição parcial ou total da areia natural pela areia britada.

2.1 CONCEITUAÇÃO

Sabe-se da grande importância dos sistemas drenantes utilizados em obras de terra. Os sistemas drenantes internos localizam-se abaixo da superfície do terreno natural e são tradicionalmente compostos por materiais granulares não coesivos, cujo projeto granulométrico permite que funcione simultaneamente como dreno, facilitando a percolação da água e como filtro, impedindo a passagem de solos finos adjacentes no sentido do fluxo.

Peroni (2003) define o filtro de obras de terra:

um corpo com distribuição granular conveniente, no qual os agregados exercem as seguintes funções: criar um meio poroso para garantir a interceptação de fluxos preferenciais de água eventualmente existentes no aterro e conduzi-los para jusante da obra de terra; promover a drenagem da fundação com redução da sub-pressão, que seriam prejudiciais à estabilidade da obra. Para serem aplicados em filtro de obra de terra os agregados devem ser mais permeáveis que o solo a ser protegido, permitindo a livre drenagem de água e ter contribuições granulométricas adequadas, evitando que as partículas do solo sejam carregadas através dos seus vazios. Ser constituído de material não desagregável e de difícil solubilidade.

2.2 TIPOS DE SISTEMA DRENANTES EM OBRAS DE TERRA

No geral, a finalidade principal dos sistemas drenantes profundos é o rebaixamento do lençol freático existente em determinada cota para as cotas previstas em projeto.

Em conformidade com os estudos de Vertematti e Aguiar (1977) os sistemas drenantes profundos foram classificados em: drenos lineares profundos longitudinais; drenos profundos sub-horizontais; drenos profundos verticais e drenos em camadas. Todos estes drenos são contínuos, pois são formados por um só tipo de material.

2.2.1 Drenos lineares profundos longitudinais

Os drenos lineares profundos longitudinais são comumente aplicados nos pátios dos edifícios, nos túneis, nas rodovias e ferrovias, nos aeroportos e em campos de futebol. Apresentamos a seção típica na Figura 1 abaixo:

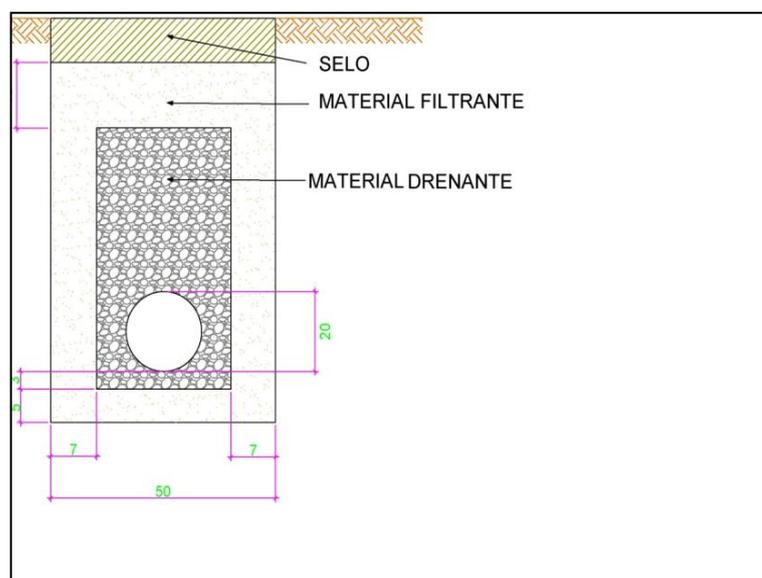


Figura 1 - Seção transversal de um dreno profundo longitudinal.
Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

Estes drenos alcançam uma profundidade que varia de 1,20 a 2,00 m. Quando aplicados em rodovias, podem ser conectados com a base do pavimento para captar também a água de capilaridade e eventuais infiltrações pela superfície. Vide Figura 2.

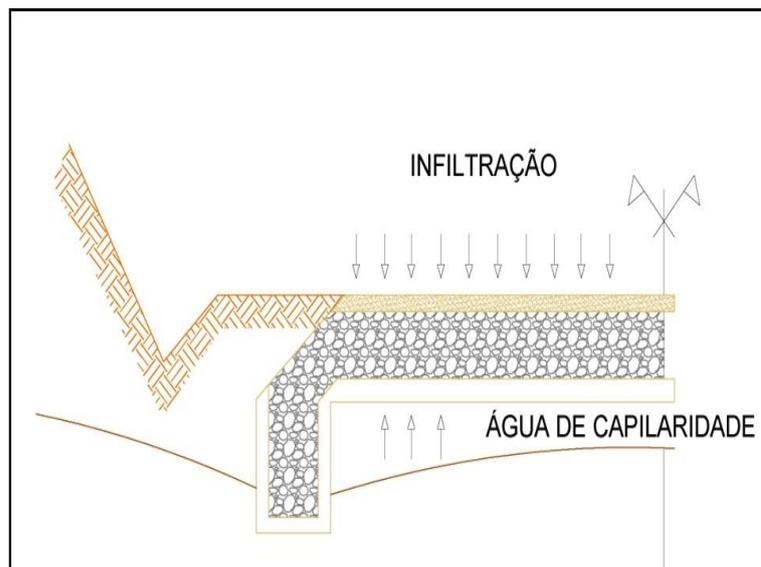


Figura 2 - Seção transversal de um dreno profundo longitudinal, mostrando a infiltração pela superfície de rolamento.

Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

2.2.2 Drenos sub-horizontais profundos

São executados em taludes e túneis, conforme as Figuras 3 e 4. São duas as técnicas mais aplicadas: execução de drenos com filtro de areia e execução de drenos com filtro de geotextil. Estudaremos os drenos construídos com filtro de areia. Filtros de areia compreendem as seguintes fases construtivas:

- a) furação do terreno (diâmetro sensivelmente maior que o tubo do dreno), com cravação ou não de revestimento, dependendo da natureza do solo;
- b) instalação no furo, de um tubo de PVC perfurado, coberto com tela de nylon devidamente fixada e dotado de anéis centradores vazados e espaçados convenientemente;
- c) preenchimento do espaço anelar entre o tubo e o furo com areia peneirada (compatível com a malha da tela pregada) bombeada com água.

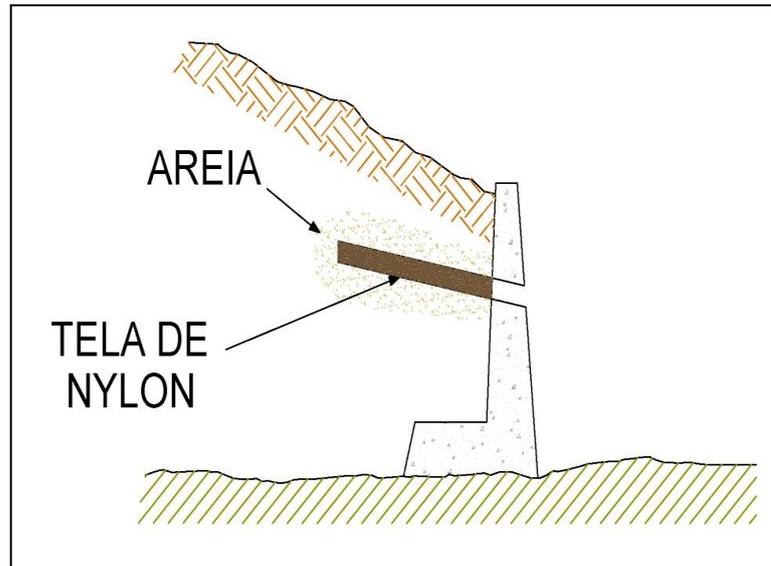


Figura 3 - Seção transversal de um dreno sub-horizontal em talude protegido por cortina atirantada.
Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

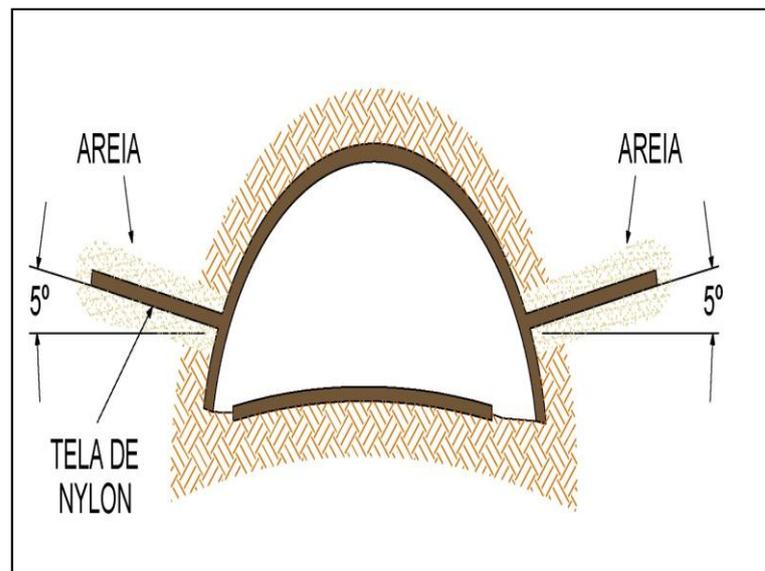


Figura 4 - Seção transversal de um dreno sub-horizontais em túnel.
Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

2.2.3 Drenos verticais

São drenos lineares, só que sua dimensão maior aprofunda-se no solo verticalmente. Dentre os drenos verticais é bastante conhecido o tipo chamado “dreno de areia”. As estacas de areia são constituídas de perfurações verticais executadas em camada de solo que se adensa sob ação de uma sobrecarga, têm por objetivo acelerar esse processo de adensamento.

Os drenos verticais de areia, em geral, são executados cravando-se um tubo aberto no solo e limpando-o; o tubo com diâmetro de 20 a 60 cm é retirado e vai sendo cheio com material permeável (areia) de granulometria adequada. Os tubos são espaçados de 2m a 5m. Vide Figura 5 e 6.

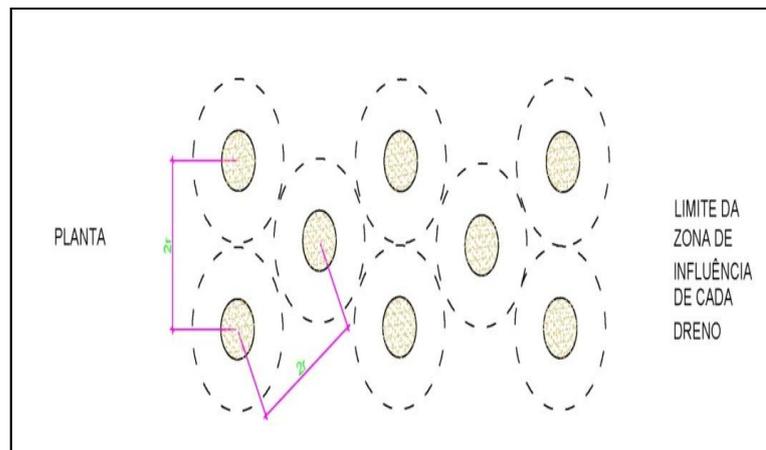


Figura 5 - Drenos verticais vistos em planta (estacas de areia).
Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

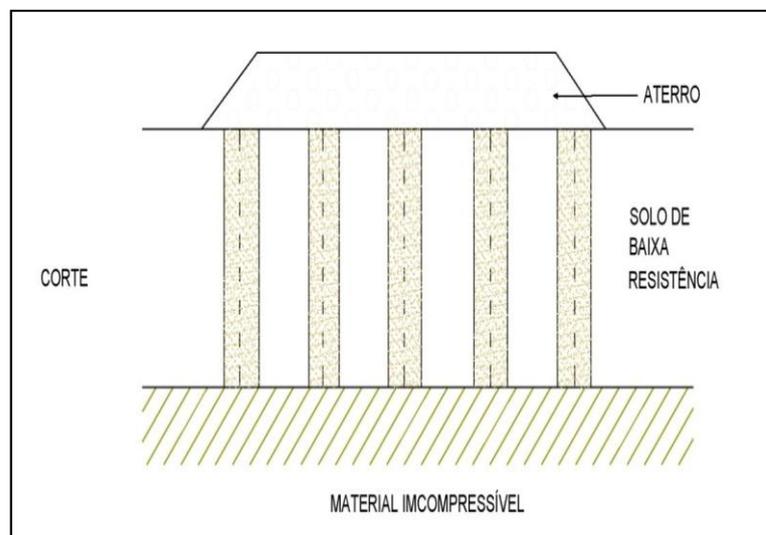


Figura 6 - Drenos verticais (Figura 5), vista em perfil.
Fonte: Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

Outro tipo de dreno vertical é o chamado “poço de alívio” (Figura 7), executado em barragens com a finalidade de aliviar sub-pressões.

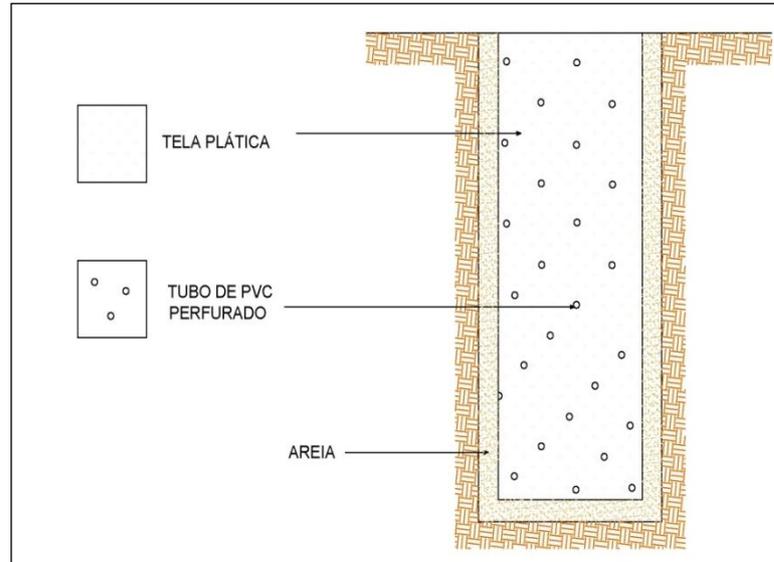


Figura 7 - Seção transversal de um dreno vertical "Poço de Alívio".
Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

2.2.4 Drenos em camadas

Estes drenos são utilizados nas seguintes obras: portos e terminais marítimos; barragens; estradas e muros de arrimo com gabião. (VERTEMATTI; AGUIAR, 1977).

O colchão drenante é um tipo de dreno em sistemas de camadas, utilizado na construção de estradas (Figura 8); pode possuir uma só camada filtrante drenante ou duas camadas, sendo uma filtrante e outra drenante e tem as finalidades de interceptar o lençol freático, evitar as infiltrações por capilaridade e drenar as águas de infiltração superficial.

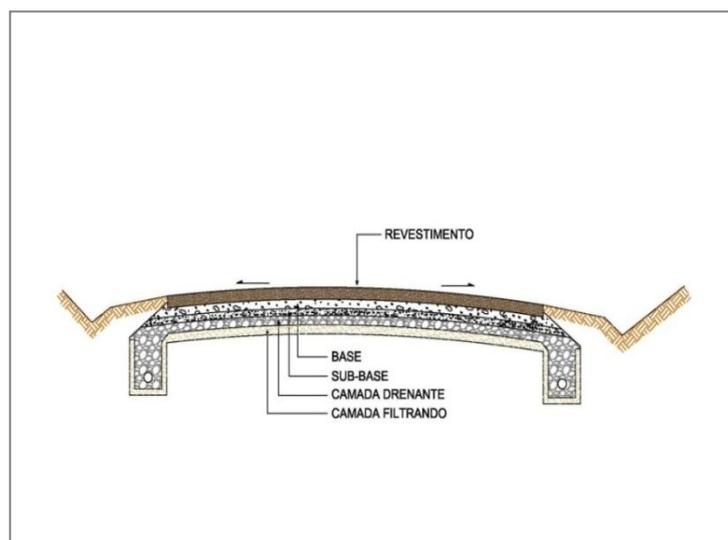


Figura 8 - Seção transversal de um colchão drenante.
Fonte: VERTEMATTI; AGUIAR (1977).

2.2.5 Filtros de barragem

Em barragem de terra, devido às infiltrações no maciço, causadas pela água represada à montante, intercepta-se esse fluxo através do filtro vertical (ou inclinado), conduzindo-o para o filtro horizontal.

A Figura 9 é uma seção genérica da Barragem de Itumbiara. O sistema de drenagem é constituído de enrocamento de proteção (rip rap), depois entre o enrocamento de proteção e o talude de montante, situa-se o enroamento fino compactado (transição). Em seguida vem o filtro vertical, construído em areia natural, também denominado filtro “chaminé”. A finalidade do filtro vertical é captar as águas de percolação provenientes de montante e conduzi-las para jusante através do filtro “sanduíche”. O filtro sanduíche é constituído de duas camadas de areia natural que envolvem uma camada de brita fina (pedrisco). Além de captar as águas do filtro vertical, drena as águas de infiltração da fundação.

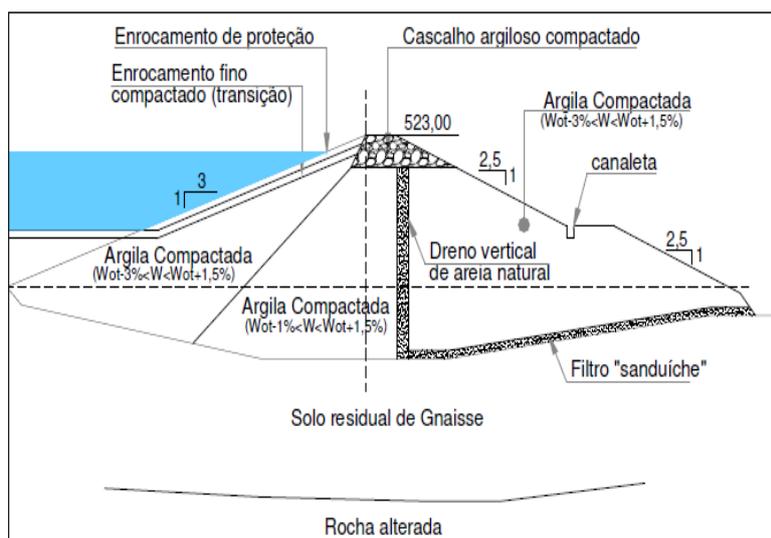


Figura 9 - Seção transversal-tipo, barragem de Itumbiara (ABMS/ABGE). Captação através de dreno chaminé.
Fonte: CRUZ (1996).

2.3 GRANULOMETRIA

A granulometria se refere à medida dos tamanhos das partículas dos grãos de solos. Quanto ao tamanho dos grãos, distinguem-se os solos granulares, com predominância das partículas visíveis, dos solos finos, com predominância das partículas não visíveis a olho nu.

Segundo Caputo (1967), as frações constituintes dos solos recebem designações próprias que se identificam com as acepções usuais dos termos. Essas frações, de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT), considerando os diâmetros equivalentes, serão classificadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Frações obtidas na classificação granulométrica (ABNT NBR NM 6502/95)

Fração	Limites Definidos pela Norma ABNT considerando os diâmetros equivalentes	
Bloco de Rocha	Superior a 1,00 m	
Matacão	de 20,00 cm	a 1,00 m
Pedregulho	de 2,00 mm	a 60,00 mm
Areia Grossa	de 0,60 mm	a 2,00 mm
Areia Média	de 0,20 mm	a 0,60 mm
Areia Fina	de 0,006 mm	a 0,20 mm
Silte	de 0,002 mm	a 0,06 mm
Argila	Inferior a 0,002 mm	

Fonte: SOARES; PINHEIRO; TAVARES (2006).

A análise da distribuição das dimensões dos grãos é denominada análise granulométrica. Sua finalidade é determinar o diâmetro equivalente das partículas sólidas, em conjunto com a proporção de cada fração constituinte do solo, em relação ao peso do solo seco. A representação gráfica das medidas realizadas é denominada de curva granulométrica (Figura 10). Como o solo geralmente se apresenta em partículas com diâmetros equivalentes variando em uma faixa, a curva granulométrica é normalmente apresentada em um gráfico semi-log. No gráfico, o diâmetro equivalente das partículas é apresentado em uma escala logarítmica (eixo das abscissas) e a porcentagem de partículas com diâmetro inferior à abertura da peneira considerada (eixo das ordenadas) em escala linear.

Na Figura 10 distingue-se uma granulometria contínua (curva a) ou descontínua (curva b); uniforme (curva c); bem graduada (curva a), ou mal graduada (curvas b, c).

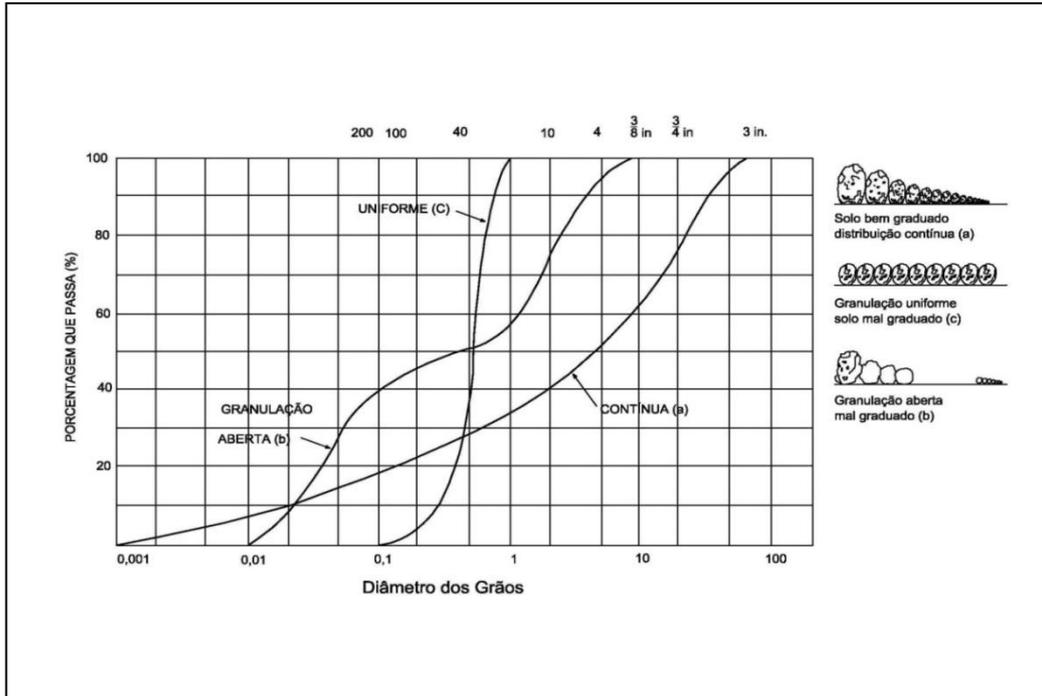


Figura 10 - Representação de curvas granulométricas mostrando o padrão de distribuição dos tamanhos dos grãos.

Fonte: MACHADO; MACHADO (2010)

Não há uma única definição para os intervalos de variação dos diâmetros das partículas. Existem várias escalas em uso, conforme mostrado na Figura 11.

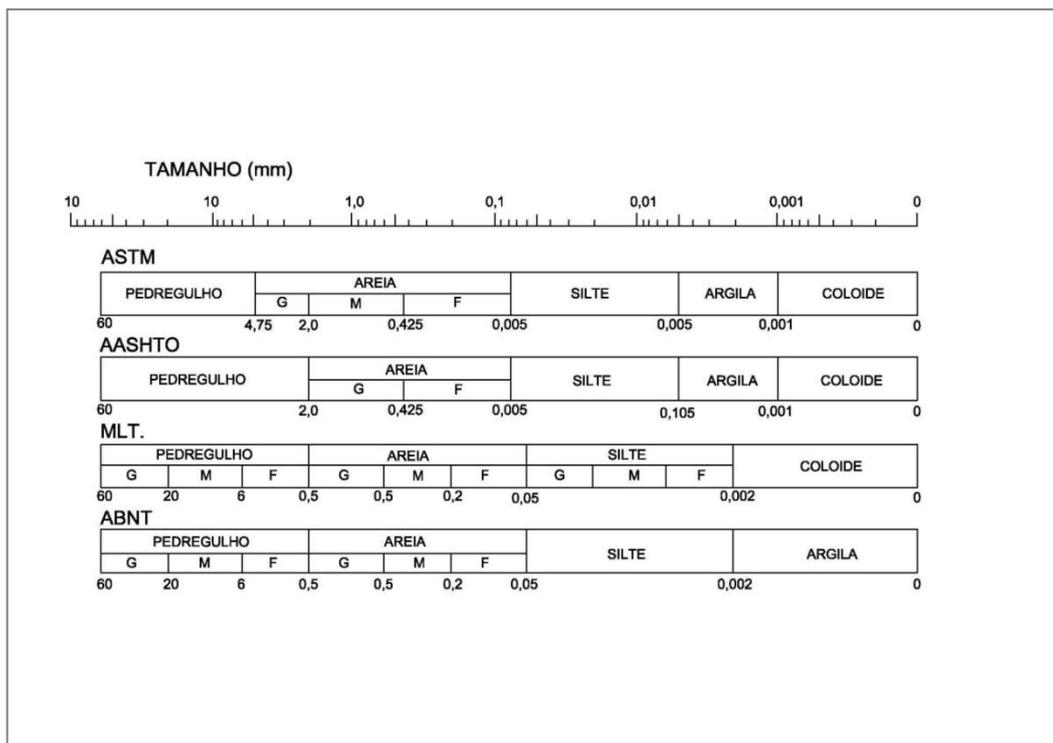


Figura 11 - Escalas Granulométricas adotadas pela A.S.T.M., A.A.S.H.T.O, M.I.T e ABNT.

Fonte: SOARES; PINHEIRO; TAVARES (2006).

Segundo Allen Hazen (1902, *in* Caputo 1967), na curva granulométrica foram definidos os seguintes parâmetros: “diâmetro efetivo” (Figura 12) e “grau de uniformidade”. O Diâmetro efetivo (d_{ef}) é o diâmetro correspondente a 10% em peso do total de partículas menores que ele. Esse parâmetro é um dos indicadores sobre a permeabilidade das areias usadas para filtro. Já o coeficiente de uniformidade (C_u) é a razão entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10% tomados na curva granulométrica como representado a seguir:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

Essa relação quantifica a uniformidade da granulometria dos materiais. Consideram-se de granulometria muito uniforme os materiais com $C_u < 5$, de uniformidade média se $5 < C_u < 15$ e desuniforme, quando $C_u > 15$.

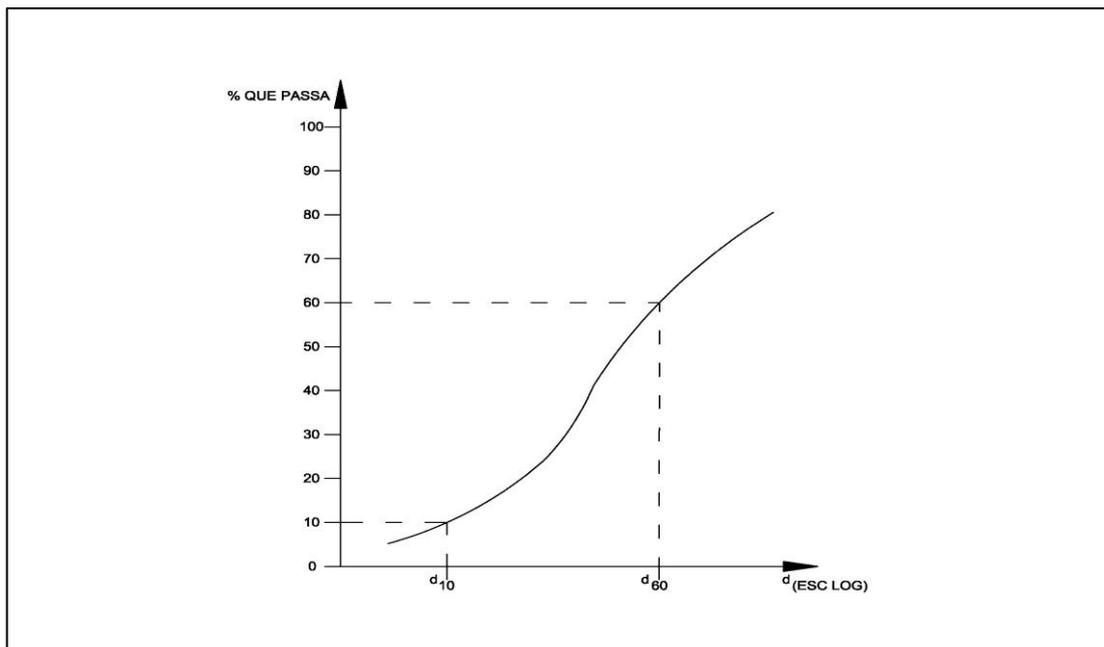


Figura 12 - Gráfico diâmetro x percentagem de material passante
Fonte: MACHADO; MACHADO (2010).

Define-se ainda, o coeficiente de curvatura do material:

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (2)$$

Onde d_{30} é o diâmetro correspondente a 30% em peso do total de partículas menores que ele. Para solos bem graduados seu valor está compreendido entre 1 e 3.

Conforme Braja (2011) os métodos geralmente utilizados para encontrar a dimensão das partículas das areias são: (1) ensaio de peneiramento - para tamanhos de partículas maiores que 0,075 mm de diâmetro e (2) ensaio de sedimentação - para tamanho das partículas menores que 0,075 mm de diâmetro.

Para os materiais granulares ou fração grossa do solo, o diâmetro equivalente será igual ao diâmetro da menor esfera que circunscreve a partícula, enquanto que para fração fina este diâmetro é o calculado através da lei de Stokes.

As aberturas das malhas das peneiras normais da A.S.T.M. são em milímetros. A indicação da peneira refere-se à abertura da malha, número de malhas quadradas por polegada linear. Na Tabela 2 apresentamos a escala granulométrica da A.S.T.M.

Tabela 2 - Escala Granulométricas da A.S.T.M.

N ^o	Abertura em mm	N ^o	Abertura em mm
4	4,75	35	0,500
5	4,00	40	0,425
6	3,35	50	0,355
7	2,80	60	0,250
8	2,36	70	0,212
10	2,00	80	0,180
12	1,70	100	0,150
14	1,40	120	0,125
16	1,18	140	0,106
18	1,00	170	0,090
20	0,850	200	0,075
25	0,710	270	0,053
30	0,600		

Fonte: MACHADO, MACHADO (2010)

2.3.1 Granulometria dos agregados

De acordo com a ABNT NBR NM 248 (2003) adota-se as seguintes definições:

- a) Composição granulométrica - proporção relativa das massas dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado, expresso em percentagem.
- b) Percentagem retida - percentagem em massa, em relação à amostra total do agregado, que fica retida numa determinada peneira, tendo passado pela peneira as série normal ou intermediária.
- c) Percentagem retida acumulada - soma das percentagens retidas nas peneiras de abertura de malha maior e igual a uma determinada peneira,

- d) Curva granulométrica - representação gráfica das percentagens retidas acumuladas em cada peneira em relação à dimensão da abertura de sua malha. A percentagem retida acumulada é representada em escala natural (ordenada) e a abertura da peneira em escala logarítmica (abscissa).
- e) Dimensão máxima característica - grandeza correspondente à abertura nominal, em milímetro, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada, em massa, igual ou imediatamente inferior a 5%.
- f) Módulo de finura - soma das percentagens retidas acumuladas em massa de agregado, em todas as peneiras da série normal, dividida por 100.

2.3.2 Peneiras

Na Tabela 3 apresentamos o conjunto de peneiras com as respectivas aberturas em mm conforme ABNT NBR NM 248, identificando na coluna esquerda, as peneiras da série normal e na coluna da direita as peneiras da série intermediária

Tabela 3 - Peneiras sucessivas com as seguintes aberturas, em milímetros: NBR NM 248.

<i>Série Normal</i>	<i>Série Intermediária</i>
ABNT 75 mm	
--	ABNT 63 mm
--	ABNT 50 mm
ABNT 37,50 mm	--
--	ABNT 31,5 mm
--	ABNT 25 mm
ABNT 19 mm	--
--	ABNT 12,5 mm
ABNT 9,5 mm	--
--	ABNT 6,3 mm
ABNT 4,75 mm	
ABNT 2,36 mm	
ABNT 1,18 mm	
ABNT 0,600 mm	
ABNT 0,300 mm	
ABNT 0,150 mm	

Fonte: NBR NM 248 (2003)

2.4 INDICES FÍSICOS DO SOLO

Os índices físicos são números que definem as diversas características do solo, tais como: peso específico real dos grãos, o peso aparente natural, o teor de umidade, o índice de vazios, a porosidade, o grau de saturação e etc. Todos estes índices são importantes na definição das propriedades físicas e do comportamento mecânico dos solos (SOARES; PINHEIRO; TAVARES, 2006).

O solo é constituído de três fases:

- a) Fase sólida: constituída por esqueleto mineral composto de partículas minerais e orgânicas;
- b) Fase líquida: situada nos poros formados no esqueleto mineral. Distingue-se a água molecular, a água adsorvida, água capilar, água livre e água higroscópica;
- c) Fase gasosa: constituído pelo ar situado nos poros.

2.4.1 Teor de umidade do solo

Define-se a umidade (h) de um solo como sendo a razão entre o peso da água contida num certo volume de solo (W_w) e o peso da parte sólida existente neste mesmo volume (W_s), expresso em percentagem.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3)$$

2.4.2 Peso específico aparente do solo

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \gamma = \frac{P_t}{V_t} \quad (4)$$

γ : Peso específico aparente do solo;

W: Peso total;

V: Volume total da amostra.

No campo, a determinação do γ pode ser feita, entre outros, pelo conhecido “processo do frasco de areia”.

2.4.3 Peso específico aparente do solo seco

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V} \quad (5)$$

γ_s : Peso específico aparente do solo seco;

W_s : Peso dos sólidos;

V : Volume total da amostra.

2.4.4 Índice de vazios

Este índice define o percentual do volume de vazios existentes no volume de determinada fração de solo.

Segundo Caputo (1967) índice de vazios (e) é a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume da parte sólida de um solo (V_s), isto é:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (6)$$

Este índice foi introduzido por Terzaghi ao estudar o “fenômeno do adensamento do solo”, pois a variação de e , indicando uma variação de volume, só depende do volume de vazios (V_v), uma vez que o volume dos sólidos (V_s) não varia, ou varia muito pouco durante o fenômeno. No laboratório, sua determinação é feita em função do peso específico das partículas de solo (γ) e do peso específico do solo seco (γ_s), conforme a expressão abaixo:

$$e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1 = \frac{\frac{W_s}{\gamma_s}}{\frac{W_s}{\gamma_s}} - 1 = \frac{\gamma}{\gamma_s} - 1 \quad (7)$$

Porosidade (n) é a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume total (V).

$$n\% = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad (8)$$

$$n = \frac{e}{1+e}; \text{ ou } n = e(1+e) \text{ ou } e = n(1-n) \quad (9)$$

Segundo Soares, Pinheiro e Tavares (2006) a porosidade e o índice de vazios podem ser classificados segundo a tabela a seguir:

Tabela 4 - Classificação, porosidade e índice de vazios

Porosidade (%)	Índice de vazios	Denominação
>50	>1	Muito alta
45 – 50	0,80 - 1,00	Alta
35 – 45	0,55 - 0,80	Média
30 – 35	0,43 - 0,55	Baixa
<30	<0,43	Muito baixa

Fonte: SOARES; PINHEIRO; TAVARES (2006)

Bastos (2009), define índice de vazios máximo como o estado mais fofo possível de uma amostra de areia; é a areia vertida por um funil de pequena altura; índice de vazios mínimo é o estado mais compactado possível de uma amostra de areia, utilizando-se compactação por vibração e/ou pisoteamento.

Tabela 5 - valores típicos de e_{\min} e e_{\max} para as areias

e_{\min}	e_{\max}	Classificação da areia
0,70	1,10	Areia uniforme de grãos angulares
0,50	0,75	Areia bem graduada de grãos angulares/ Areia uniforme de grãos arredondados
0,40	0,65	Areia bem graduada de grãos arredondados

Fonte: Professor Cezar Bastos (2009)

2.4.5 Grau de compactidade

Compactidade é a característica de maior ou menor densidade dos solos granulares (solos não coesivos). Os solos não coesivos são as areias e pedregulhos.

Segundo Braja (2011), o estado natural de um solo não coesivo define-se pelo chamado grau de compactidade relativo (CR), como descrito abaixo.

$$CR = \frac{e_{\max} - e_{nat}}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (10)$$

Em função dos pesos específicos o grau de compactidade relativo (CR) se exprime:

$$CR = \frac{\gamma_{nat} - \gamma_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} \times \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{nat}} \quad (11)$$

Onde γ_{\max} , γ_{nat} e γ_{\min} são os pesos específicos secos nos estados, mais denso, natural e mais solto possível, respectivamente.

Segundo os critérios definidos Braja (2011), as areias e siltes são classificados, de acordo com o grau de compactidade relativa, em:

- a) Fofas (ou soltas) quando $0 < CR < 1/3$
- b) Medianamente compactas quando $1/3 < CR < 2/3$
- c) Compactas quando $2/3 < CR < 1$

2.5 PERMEABILIDADE

O conhecimento do valor do escoamento da água através do solo é muito importante em algumas obras de engenharia, principalmente, na estimativa da vazão que percolará através do maciço e da obra de terra, inclusive da fundação da barragem de terra, onde se faz necessário o rebaixamento do nível d água.

O que permite o escoamento da água através do solo é o que se denomina de permeabilidade.

Segundo Braja (2011), a permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o seu grau de permeabilidade expresso numericamente pelo “coeficiente de permeabilidade”.

A determinação do coeficiente de permeabilidade é feita tendo em vista a lei experimental de Darcy (proposta em 1856 por este engenheiro francês), de acordo com o qual a velocidade de percolação é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico, sendo:

$$V_p = k_{p//} \times i \quad (12)$$

V_p = velocidade real de percolação da água;

k_p = *coeficiente de percolação*, que é a velocidade real média de escoamento através dos vazios do solo, quando $i = 1$;

i = gradiente hidráulico = h / L ;

h = diferença entre os níveis de água sobre cada um dos lados da camada de solo ou, em outras palavras, a perda de carga sobre a distância L ;

L = espessura da camada de solo, medida na direção do escoamento.

Portanto, para Braja (2011) a lei de Darcy é válida para um escoamento “laminar”, tal como é possível e deve ser considerado o escoamento na maioria dos solos naturais.

Um escoamento se define como laminar quando as trajetórias das partículas de água não se cortam, em caso contrário, denomina-se turbulento.

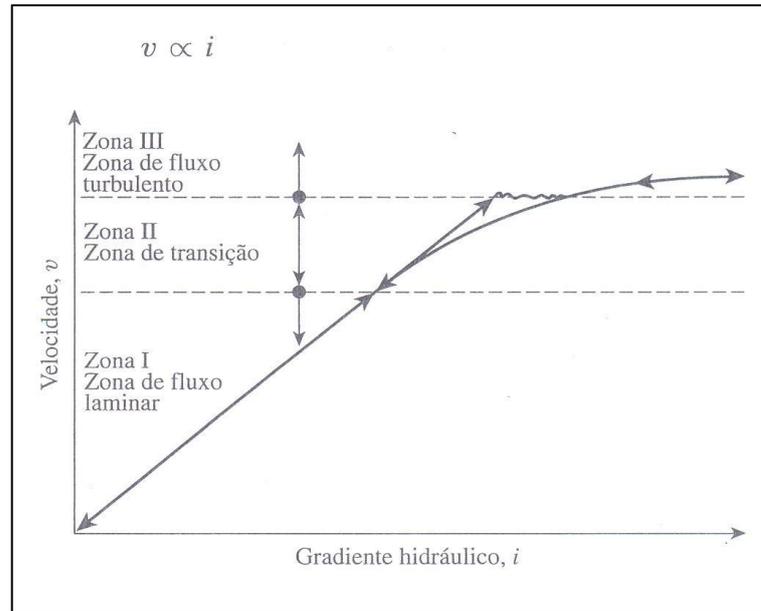


Figura 13 - Gráfico da variação da velocidade com a mudança do gradiente hidráulico no escoamento laminar e turbulento.

Fonte: BRAJA (2011).

Na prática, é mais conveniente trabalhar com a área total A da seção transversal da amostra de solo do que com a área média de seus vazios. Daí, o coeficiente de proporcionalidade de permeabilidade k , definido como sendo a velocidade média aparente v do escoamento da água através da área total (sólidos + vazios) da seção transversal do solo, sob um gradiente hidráulico.

Assim:

$$v = ki \quad (13)$$

A expressão dimensional de k é, como se verifica, a de sua velocidade LT^{-1} . No sistema métrico, ele é expresso geralmente em cm/seg.

A relação entre os coeficientes de permeabilidade e de percolação pode ser facilmente estabelecida, desde que admitamos ser a área média de vazios diretamente proporcional ao volume de vazios.

Com efeito:

$$v_v = \frac{q}{A_v} = k_p \cdot i \quad (14)$$

Admitindo a proporcionalidade entre as áreas e os volumes, temos:

$$\frac{A_v}{V_s} = \frac{A}{V} \quad \text{ou} \quad \frac{A}{A_v} = \frac{V}{V_v} = \frac{k_p}{k} = \frac{1}{n} \therefore k = n \times k_p = \frac{e}{1+e} \times k \quad (15)$$

Portanto:

$$v_p = \frac{v}{n} \quad (16)$$

n: Porosidade;

A descarga total Q através de uma área A durante um intervalo de tempo t, será:

$$Q = Akit \quad (17)$$

Se A for expresso em cm^2 ; k em cm / seg e t em seg , o valor de Q será obtido em cm^3 .

2.5.1 Fatores que influem na permeabilidade

Braja (2011) comentando sobre os fatores que influem na permeabilidade afirma que:

O coeficiente de permeabilidade varia para os diferentes solos e, para um mesmo solo, depende essencialmente da temperatura e do índice de vazios.

Quanto maior for a temperatura, menor é a viscosidade da água e, portanto, mais fácil escoar pelos vazios do solo com o correspondente aumento do coeficiente de permeabilidade; k é inversamente proporcional à viscosidade da água. Por isso, os valores de k são geralmente referidos à temperatura de 20^0 C , o que se faz pela seguinte relação:

$$k_{20^0} = k_t \times \frac{\eta_T}{\eta_{20^0}} = k_T \times C_V$$

Onde T é a temperatura do ensaio, η a viscosidade da água (à temperatura de 20^0 C) e C_V a relação entre as viscosidades. Os valores de C_V são lidos na Figura 14.

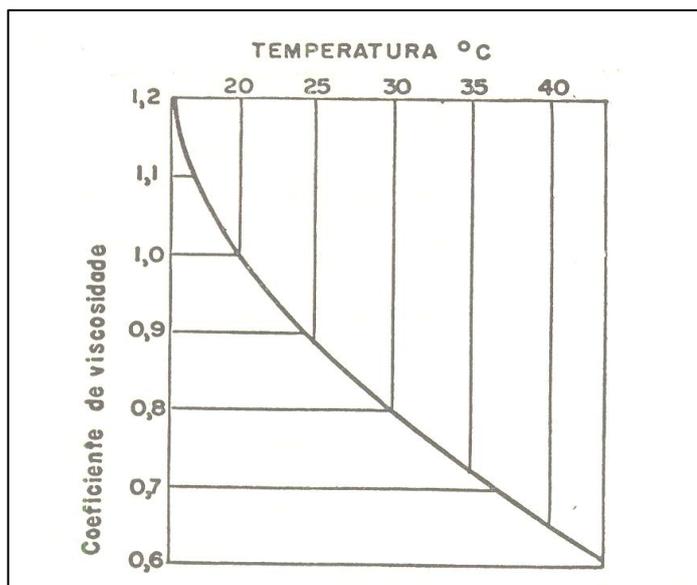


Figura 14 - Gráfico da variação do coeficiente de viscosidade com a temperatura.
Fonte: CAPUTO (1967).

A influência do índice de vazios sobre a permeabilidade, em se tratando de areias puras e graduadas, pode ser expressa pela equação de A. Casagrande (1930):

$$k = 1,4 \times k_{0,85} \times e^2 \quad (18)$$

$k_{0,85}$: coeficiente de permeabilidade do solo, quando $e = 0,85$.

Soares *et al* (2006) comentaram a influência da forma do grão e da granulometria, do índice de vazios, da composição mineralógica, da estrutura, do fluido e da macroestrutura sobre a permeabilidade:

a) Granulometria: o tamanho das partículas que constituem os solos influencia no valor de “k”. Nos solos pedregulhosos sem finos (partículas com diâmetro superior a 2 mm), por exemplo, o valor de “k” é superior a 0,1cm/s; já nos solos finos (partícula com diâmetro inferior a 0,075 mm) os valores de “k” são bem inferiores a este valor.

b) Índice de vazios: a permeabilidade dos solos esta relacionada com o índice de vazios, logo com a sua porosidade. Quanto mais poroso for um solo (maior a dimensão dos poros), maior será o índice de vazios, por conseguinte, mais permeável (para argilas moles, isto não se verifica).

c) Composição mineralógica: a predominância de alguns tipos de minerais na constituição dos solos tem grande influência na permeabilidade. Por exemplo, argilo-minerais (caulinitas, ilitas

e montmorilonitas) possuem um valor de “k” muito baixo, que varia de 10^{-7} a 10^{-8} cm/s. Já nos solos arenosos, cascalhentos sem finos, que são constituídos, principalmente, de minerais silicosos (quartzo) o valor de “k” é da ordem de 1,0 a 0,01 cm/s.

d) Estrutura: o arranjo das partículas. Nas argilas existem as estruturas isoladas e em grupo que atuam forças de natureza capilar e molecular, que dependem da forma das partículas. Nas areias o arranjo estrutural é mais simplificado, constituindo-se de canalículos interconectados onde a água flui mais facilmente.

e) Fluido: o tipo de fluido que se encontra nos poros. Nos solos em geral, o fluido é a água, com ou sem gases (ar) dissolvidos.

f) Macro-estrutura: principalmente em solos que guardam as características do material de origem (rocha mãe) como diaclases, fraturas, juntas, estratificações. Estes solos constituem o horizonte C dos perfis de solo, também denominados de solos saprolíticos.

2.5.2 Intervalo de variação do coeficiente de permeabilidade

Cada tipo de solo tem seu coeficiente de proporcionalidade de permeabilidade (k). Os solos não coesivos têm coeficiente de permeabilidade maior do que os solos coesivos.

O valor de k é comumente expresso como um produto de um número por uma potência negativa. Como exemplo citamos o valor $k=1,3 \times 10^{-8}$ cm/seg. Valor este, aliás, característicos de solos, analisado na Figura 15, considerados impermeáveis para todos os problemas práticos.



Figura 15 - Intervalos de variação dos valores de k para os diferentes tipos de solos.
Fonte: CAPUTO (1967).

2.5.3 Determinação do coeficiente de proporcionalidade de permeabilidade

A determinação de k pode ser feita por meio da fórmula que relaciona com a granulometria (por exemplo, a fórmula de Hazen), no laboratório, utilizando-se os “permeâmetros” (de nível constante ou de nível variável), *in loco*, pelo chamado “ensaio de bombeamento” ou pelo ensaio de “tubo aberto”; para as argilas, a permeabilidade se determina a partir do ensaio de adensamento.

A fórmula de Hazen é válida somente para areias fofas e uniformes (Figura 16).

$$k = C \times d_{10}^2 \quad (19)$$

Onde k é obtido em cm/s, $d_{10} = d_{ef}$ em centímetros e C um coeficiente que varia de 100 a 150. Levando-se em conta a temperatura T (°C) esta fórmula se escreve:

$$k = C \times (0,7 + 0,03 \times T) \times d_{10}^2 \quad (20)$$

É empregado geralmente para solos granulares (arenosos), o coeficiente k é determinado medindo-se a quantidade de água mantida a nível constante que atravessa, em um determinado tempo t , uma amostra de solo de seção A e altura L conhecidas.

A quantidade de água (Q) que atravessa a amostra é recolhida em um recipiente graduado e calculada por intermédio da fórmula:

$$Q = k \times \frac{h}{L} \times A \times i \times t \quad (21)$$

h : Desnível entre a superfície de entrada da água e superfície de saída;

k : Coeficiente de proporcionalidade de permeabilidade;

i : Gradiente hidráulico;

A : Área da seção transversal do corpo de prova;

L : Comprimento do corpo de prova.

Tem-se imediatamente que:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times h \times i}$$

(22)

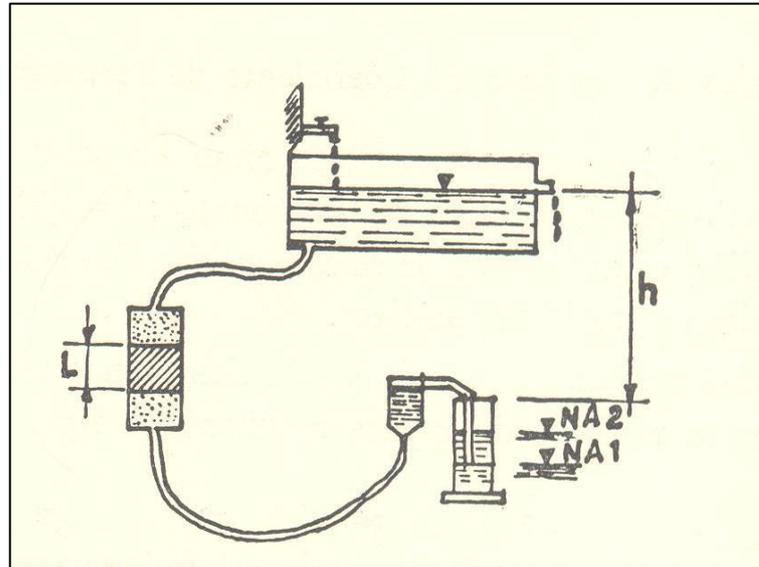


Figura 16 - Seção transversal de um permeâmetro de nível constante.
Fonte: CAUTO (1967).

2.5.4 Ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade

É evidente que cada solo, em função das suas características (tais como granulometria, índice dos vazios e mineralogia) tem sua permeabilidade.

A Tabela 6 apresenta valores típicos do coeficiente de permeabilidade (médios) em função dos materiais (solos arenosos e argilosos). Consideram-se solos permeáveis, ou que apresentam drenagem livre, aqueles que têm permeabilidade superior a 10^{-5} cm/s. Os demais são solos impermeáveis ou com drenagem impedida.

Tabela 6 - Valores típicos do coeficiente de permeabilidade

Permeabilidade		Tipo de solo	k (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Média	Areias	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	Siltes e argilas	10^{-5} a 10^{-7}
Solos Impermeáveis	Muito baixa	Argila	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

Fonte: SOARES; PINHEIRO; TAVARES (2006).

2.6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE FILTROS DE PROTEÇÃO

Ao construirmos um filtro de proteção, nossa primeira dúvida é sobre o material que usaremos nesse filtro. Se usarmos um material cujo coeficiente de permeabilidade é muito maior que o solo adjacente (brita, por exemplo), este dreno irá colmatar, ou seja, haverá carreamento do solo da fundação para dentro do dreno. Se utilizarmos um material pouco permeável, o tempo para se efetuar a drenagem será maior. Concluímos então que o material do filtro de proteção deve ser bastante aberto (permeável) e ao mesmo tempo bastante fechado (menos permeável) para evitar o carreamento do solo da fundação para o dreno.

Foram desenvolvidos diversos critérios para dimensionamento de filtros contudo, uma das primeiras tentativas para se dimensionar, partiu de Sterns (1900). Entretanto, o primeiro estudo racional deste critério de filtros partiu de Terzaghi (1964), que decidiu fazer um estudo das estruturas de fundação de barragens rompidas por “*piping*”.

Segundo Vertematti e Aguiar (1977) acredita-se que Terzaghi(1964) foi o primeiro a utilizar-se de um filtro invertido, aplicando-o em 1920 numa barragem dos Alpes Austríacos que tinha sido destruída pela ação da pressão hidrostática.

O critério estabelecido por Terzaghi (1964) para filtros de proteção foi constatado em laboratório por Bertram, em 1940, sob orientação de Casagrande. Tal critério recebeu o nome de Critério de Bertram - Terzaghi, que estabelece as seguintes relações a serem obedecidas:

$$4 \leq \frac{D_{15F}}{D_{85S}} \leq 5 \quad \text{e} \quad 4 \leq \frac{D_{15F}}{D_{15S}} \leq 5 \quad (23)$$

A 1ª inequação (relação *anti-piping*), assegura que os vazios de um material filtrante não sejam muito maiores do que as partículas do solo adjacente.

A 2ª inequação assegura que estes mesmos vazios sejam suficientes para que a drenagem se dê livremente (garante a permeabilidade). Neste ensaio, algumas das conclusões de Bertram (1940) foram:

- a) este critério é praticamente independente da forma dos grãos do solo;
- b) embora os filtros tenham sido analisados com 70% de compactação esse critério pode ser aplicável para filtros com um mínimo de 50% de compactação.

2.7 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA DE BARRAGENS

O sistema de drenagem interna de uma barragem de terra é um dos fatores predominantes para o bom funcionamento de uma barragem.

Segundo Massad (2003), estatisticamente verifica-se que a maioria dos acidentes com barragens de terra deram-se devido à falta de um sistema eficiente de controle de fluxo.

Os fatores de segurança convencionais empregados em relação à vazão para filtros e drenos é muito alto. Esses valores variam de 10 a 100.

Valores tão altos para fatores de segurança são facilmente justificados, conforme Sá (1981):

- a) Existem incertezas com relação aos coeficientes de permeabilidade dos materiais, notadamente de fundação e também quanto à colmatação dos filtros;
- b) As permeabilidades variam em escala logarítmica;
- c) Os materiais, tanto da fundação quanto do maciço, são heterogêneos.

Colmatação é a obstrução dos vazios de um material drenante, com conseqüente diminuição de sua permeabilidade. Ela pode ser causada pela precipitação de óxidos ferrosos ou pelo carreamento de finos do material à montante do filtro. No caso de problemas com drenagem interna o seu reparo é muito difícil e oneroso, e geram-se incertezas com relação ao fluxo através da rocha.

Sabemos que no período, de 1940 a 1947, houve freqüentes insucessos em projetos e construção de barragens em todo o mundo. Todos os insucessos foram debitados à ausência de um bom projeto de drenagem interna.

Terzaghi (1947) solucionou este problema quando implantou os filtros vertical e horizontal no corpo do aterro, na barragem e dique do Vigário, localizada no Estado do Rio de Janeiro, a qual atualmente leva o seu nome (FELIPPE, 2008).

A Figura 17 representa, de forma esquemática, a barragem de Vigário (atual Karl Terzaghi), construída pela empresa Light nas proximidades da cidade de Piraí, no Estado do

Rio de Janeiro, entre os anos de 1949 e 1951, possuindo um volume de aterro de 2 milhões de metros cúbicos (Vargas, 1962).

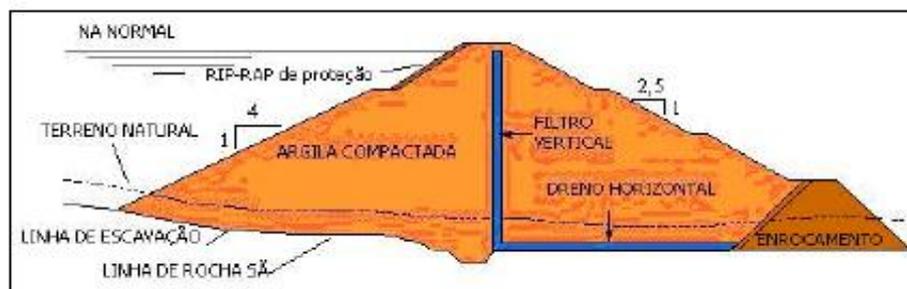


Figura 17 - Seção transversal-tipo da Barragem do Vigário, atual Karl Terzaghi onde foi utilizado, pela primeira vez, um dreno vertical.
Fonte: SEARA (2010).

No projeto do dique houve a concepção de um dreno vertical construído com material arenoso, deslocado para jusante em cota inferior ao nível de montante. Poços de alívio foram executados em espaçamento de 2 a 3 m até atingir a cota da fundação em rocha.

Observa-se que, neste projeto, pela primeira vez o dreno vertical foi conectado ao tapete drenante horizontal, diretamente em contato com a fundação e interligado a um dreno de pé, localizado à jusante. Segundo Cruz (1996), este sistema de drenagem representou uma grande inovação e influenciou muitos projetos de barragem de terra com filtros vertical e horizontal.

A solução de um sistema de drenagem interna de um maciço compactado se constitui no elemento fundamental para segurança de uma barragem de terra. Por este motivo, a drenagem interna deve ser dimensionada de maneira conservadora, de modo a estender à todas as possíveis águas de infiltração tanto do maciço como da fundação, discipliná-las e conduzi-las para jusante de maneira controlada (SEARA2010).

Conforme Assis *et al* (2003), da Figura 18 constam secções típicas de barragens de terra e a evolução conceitual dos respectivos sistemas de drenagem.

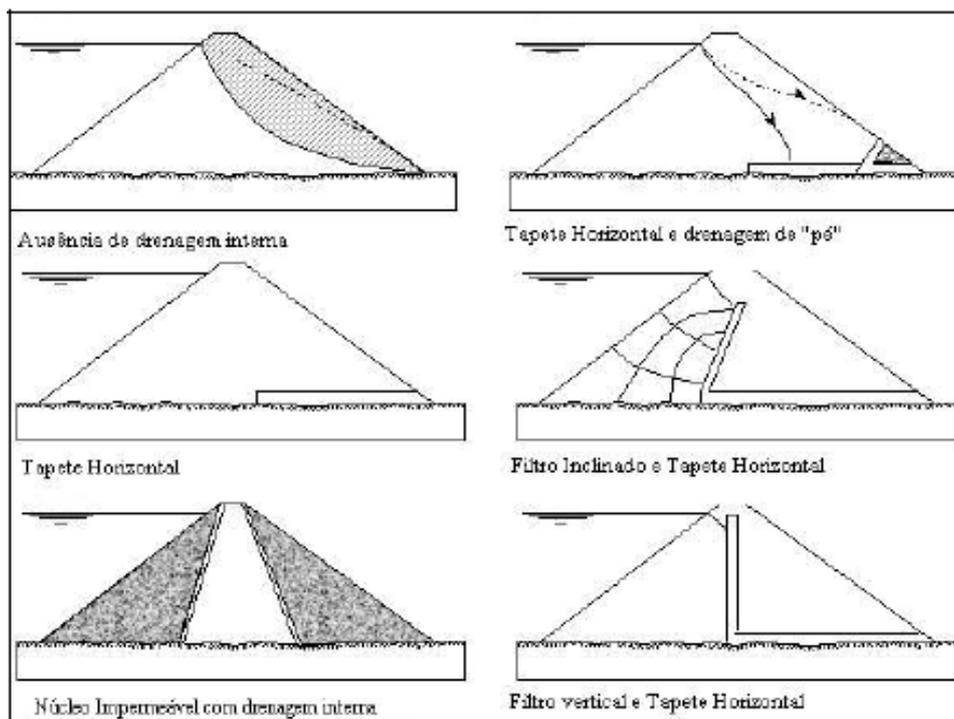


Figura 18 - Seções-tipo de barragens de terra mostrando a evolução do sistema de drenagem interna.
Fonte: SEARA (2010).

De acordo com a Eletrobrás (2003), para assegurar o dimensionamento dos sistemas de drenagens para barragens de terra devem-se observar os seguintes critérios:

- a) para barragens de terra homogêneas, o sistema de drenagem deverá ser constituído por filtro vertical ou inclinado e sub-horizontais conjugados, além de dreno de “pé”;
- b) o filtro vertical ou inclinado deverá ter sua elevação superior à cota correspondente ao nível de água máximo “*maximorum*” do reservatório;
- c) os sistemas de drenagem junto à fundação consistirão de trincheiras drenantes e poços de alívio espaçados regularmente à jusante, além do próprio filtro/dreno sub-horizontais do maciço, com o objetivo de controlar os gradientes hidráulicos de saída da jusante da barragem e de reduzir as sub-pressões;
- d) as espessuras e distribuições das camadas drenantes deverão ser verificadas para vazão obtida nas análises de percolação, considerando um coeficiente de segurança de, no mínimo, 10 (dez);
- e) a vazão a ser considerada para o tapete drenante sub-horizontais junto à fundação, deverá incluir a contribuição dos fluxos por parte do maciço do aterro compactado e da fundação.

Os valores que podem ser considerados mínimos para os dispositivos de drenagem, por razões construtivas, encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Dimensões mínimas recomendadas para os dispositivos de drenagem em barragem de terra

Tipos de Dispositivo de Drenagem	Dimensões mínimas recomendadas (m)
Filtro vertical ou inclinado	Largura de 0,60
Filtro sub-horizontal junto á fundação	Espessura de 0,25
Trincheira drenante junto à fundação	Largura de 0,60
Poços de Alívio a jusante	Diâmetro de 0,10
Transições em dreno de “pé”	Largura de 0,40

Fonte: (ELETROBRÁS, 2003)

2.7.1 Dimensionamento de transições

As transições nas barragens homogêneas em terra situam-se entre o contato da água do reservatório e o maciço do aterro compactado e situam - se também no dreno de pé. Nas barragens de terra e enrocamento, elas se situam à montante e à jusante do núcleo.

A ELETROBRÁS (2003) destaca os principais fatores a serem observados para o dimensionamento dos sistemas das transições para barragens de terra, de modo a conservar a segurança e o desempenho da estrutura de modo satisfatório:

- a) no dimensionamento poderão ser utilizados, a princípio, os critérios convencionais de transicionamento granulométrico dos materiais adjacentes, a seguir apresentados, onde “d” é o diâmetro das partículas dos materiais a serem protegidos (base) e “D” o diâmetro das partículas dos materiais de filtro. Na definição de faixas pode-se considerar “d” o valor médio da faixa e “D” o limite superior da faixa;
- b) os materiais de filtro e transição, quando usados como elementos drenantes, deverão ter permeabilidade compatível com a sua utilização e apresentar percentagem de finos não coesivos passando na peneira 200 inferior a 5%. Deverá atender também ao critério:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geq 5 \quad (24)$$

c) A transição entre solos argilosos (percentagem que passa na peneira 200) e filtros formados por materiais arenosos deverão atender aos critérios abaixo:

- Caso de transições entre núcleo de barragem de enrocamento e espaldares:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad (25)$$

- Caso de transições situadas em estruturas de menor responsabilidade e/ou em posições de baixo gradiente de percolação, entre o núcleo e o espaldar de montante e entre o enrocamento de proteção e o espaldar de montante poderá aceitar como critério:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 9 \quad (26)$$

- Para transição entre solos granulares deverá ser atendido o critério:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad (27)$$

Nos casos em que houver possibilidade de execução de ensaios específicos, estes serão utilizados na escolha dos materiais. As curvas granulométricas de base e de filtro deverão ser, na medida do possível, paralelas. Na hipótese de não ser viável técnica e/ou economicamente, para a obtenção de materiais que satisfaçam os requisitos acima dever-se-á proceder a estudos e ensaios de laboratório com o objetivo de modificar ou abrandar as condições exigidas.

2.7.2 Materiais utilizados na construção de filtros e transições das barragens de terra

No geral, as barragens brasileiras de terra e de terra e enrocamento tiveram seus filtros verticais construídos com areia. Os filtros horizontais, também construídos em areia e não raro em forma de sanduiche, são constituídos de duas camadas de areia envolvendo uma camada de brita. A areia é proveniente dos depósitos naturais (rios, dunas e cavas) e a brita, vinda das centrais de britagem instaladas nas proximidades da obra para aproveitamento das escavações obrigatórias da rocha existente, ou quando necessário, de escavações requeridas.

As transições de montante e jusante igualmente foram construídas com areia, brita, brita corrida e o rip rap de pedra com diâmetro superior a 76 mm.

A Eletrobrás (2003) define os materiais utilizados na construção dos filtros verticais e filtros de transições:

- a) Materiais naturais - são considerados aqueles obtidos através de escavações convencionais mecanizadas, dragagem ou mesmo escavações com uso de explosivos e aplicados na obra, sem necessidade de qualquer tipo de beneficiamento;
- b) Materiais processados - são aqueles produzidos artificialmente pelo beneficiamento de materiais naturais. Os tipos de beneficiamento mais utilizados são: britagem, lavagem e peneiramento.

2.8 PERENIDADE DOS FILTROS E TRANSIÇÕES

Sobre a vida útil de um sistema de drenagem interna de uma barragem de terra e de barragem de terra e enrocamento, não se tem nenhuma publicação sobre este tema; muito embora existe sempre o risco de colmatação ou outro tipo de degradação.

Segundo Bourdeaux (1982) o comportamento de filtros a longo prazo ainda é pouco conhecido pela falta de observações suficientes. Sempre existem riscos de contaminação dos materiais dos filtros e, conseqüentemente, de diminuição da espessura e da capacidade drenante dos mesmos, tendo em vista a eventual migração dos finos do material argiloso. Portanto, é recomendável se adotar uma sobre-espessura de alguns decímetros quando se calcula a espessura dos filtros e dos drenos; convém notar, entretanto, que essa sobre-espessura será muitas vezes imposta por considerações práticas relativas a facilidades construtivas e de utilização de equipamentos modernos de terraplenagem.

Outro risco, igualmente pouco conhecido e que merece ser avaliado através de investigações de laboratório, é o problema da colmatação, ou mesmo da cimentação dos filtros por depósitos de sais metálicos.

2.9 PRODUÇÃO DE AREIA BRITADA

A areia britada ou areia de brita é um sub produto na produção de brita proveniente do processo de cominuição de rochas em unidades industriais de britagem. Este tipo de material que, após sucessivas fragmentações, é obtido através da classificação por peneiramento possuindo dimensões inferiores a 4,8mm. Tanto a brita como a areia britada são processadas em unidades industriais denominadas plantas ou centrais de britagem. São constituídas de alimentadores, britadores, rebritadores, calhas vibratórias, transportadores de correias, calhas alimentadoras e peneiras vibratórias de seleção, Todo este conjunto de equipamentos atua na operação de redução de tamanho, transporte e classificação do material extraído da lavra. Toda esta operação é influenciada segundo Paul et al (2003) por:

- a) natureza da rocha-mãe, seu tipo e características;
- b) resistência à britagem da rocha, isto é, a energia requerida;
- c) taxa de abrasão, ou seja, a característica de desgaste da rocha, sujeita à fratura pelo metal;
- d) natureza do equipamento utilizado na produção de agregados.

A operação de redução de tamanho é atingida pelos mecanismos de impacto, cisalhamento, compressão, atrito e abrasão. Todos os britadores usam um ou mais desses mecanismos.

2.10 OPERAÇÃO DE BRITAGEM

A finalidade básica da exploração de uma pedreira é o desmonte da rocha sã por meio de explosivos, utilizando uma série de britadores e outras unidades para reduzir as dimensões do material, de modo a produzir os agregados utilizáveis na execução de obras da construção civil. Também é desejável produzir agregado britado que tenha formato cúbico e não achatado ou alongado.

As unidades de britagem são projetadas segundo Roberts et al (1996) para atender os seguintes objetivos:

- a) reduzir os tamanhos dos blocos de rocha;
- b) produzir formas e tamanho dos agregados;
- c) ter capacidade compatível com as cargas envolvidas para permitir seu manuseio;
- d) minimizar a ocorrência de entupimento e colmatção nas unidades durante a operação;
- e) requerer um mínimo de pessoal;
- f) satisfazer exigências de britagem reduzindo os estágios adicionais e equipamentos auxiliares;
- g) minimizar a demanda de energia por tonelada de agregado produzida;
- h) reduzir o desgaste dos componentes metálicos;
- i) operar economicamente com um mínimo de manutenção;

A Figura 19, mostra um fluxograma teórico de pedreira; o fluxograma real dependerá das condições de cada caso, como: natureza da rocha, produtos preferenciais, mercado, etc.

Além de rochas de jazidas, podem os mesmos processos de cominuição ser empregados em escória de alto-forno, produzindo o mesmo resultado final embora haja restrições à aplicação do agregado resultante deste material no concreto cimento e no concreto asfáltico.

Todo material a ser britado é oriundo da lavra. A rocha é fragmentada segundo o plano de desmonte, que determina a malha, a profundidade, a inclinação, o diâmetro dos furos a serem realizados e os tipos de explosivos a serem utilizados. Os objetivos principais do plano são: fragmentar a rocha para conseguir granulometria passante na boca do britador primário; manter as alturas das bancadas em cotas predefinidas e manter o nível dos pisos entre bancadas da mina, para não prejudicar os equipamentos de transporte. Após a conclusão da etapa de perfuração, os furos são carregados e acionados provocando o desmonte. Caso ocorram blocos maiores que o tamanho da boca do primário estes, ainda na mina, devem ser fragmentados, seja por meio de detonações pontuais chamadas de “fogachos” ou por meio de rompedores hidráulicos instalados em escavadeiras sobre esteiras.

Existem três tipos de britadores que podem ser usados na britagem primária, a saber: britador de impacto, giratório e de mandíbulas.

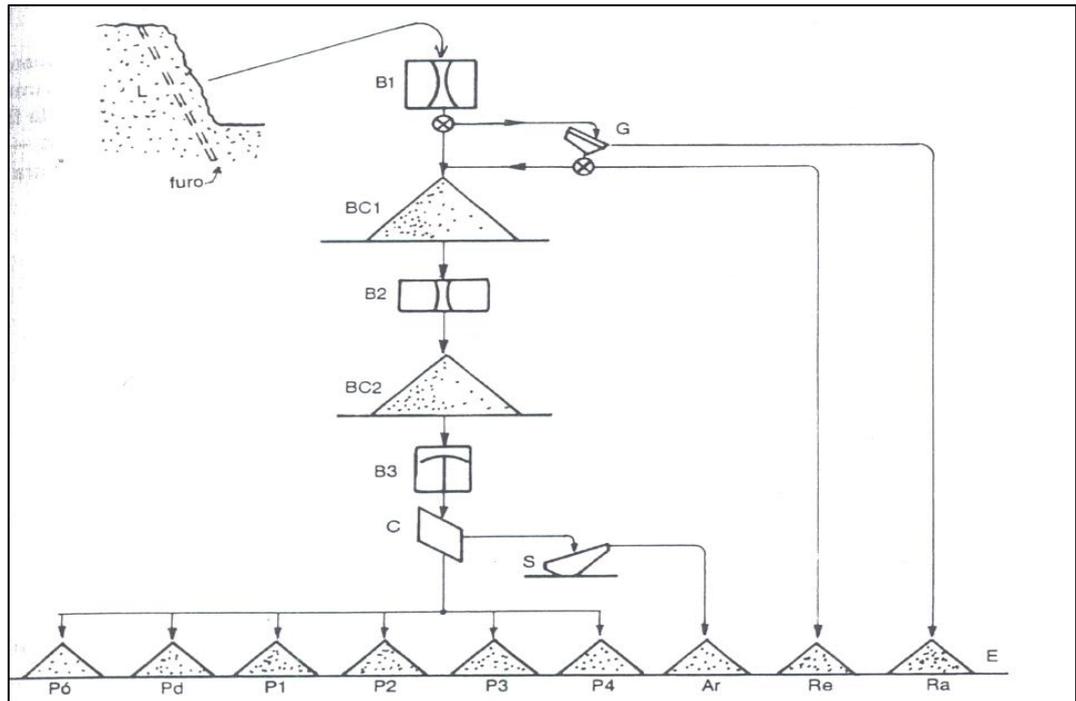


Figura 19 - Fluxograma padrão de uma pedreira mostrando a produção de britas desde a lavra até produto final.
Fonte: BAUER (2000)

Nota:

B1 - britador primário
B2 - britador secundário
Ar. Areia
P2 - pedra
L - lavra
B3 - britador terciário
Pó - pó de pedra

P3 - pedra3
B1 - britador primário
C - peneiras de classificação
Pd - pedrisco
P4 - pedra 4
G - grelha
S - separador de areia

P1 - pedra 1
Re - restolho
BC1 - bica-corrida primária e-
estocagem
Ra - rachão
BC2 - bica-corrida secundária

Na Figura 19 o britador primário é um britador de mandíbulas. Segundo a Metso (2005), a função do britador primário é, em primeiro lugar, reduzir o material de forma a possibilitar a movimentação numa correia transportadora. Na maioria das instalações de britagem que produzem agregados, a britagem primária é executada por um britador de mandíbulas.

Entre as alternativas mais usadas na britagem secundária estão o uso de cones e secundários giratórios. Como o primário é de mandíbulas, o uso de um giratório secundário apresenta a vantagem de eliminar as limitações de abertura de saída do estágio anterior. Por outro lado, o cone, devido à sua maior capacidade de redução, permite diminuir o número de estágios de britagem, simplificando a instalação e tornando possível até o fechamento do circuito em máquina secundária, que é uma prática amplamente adotada pelas instalações móveis.

A bica corrida, resultante da britagem secundária, sofrerá uma terceira cominuição, comumente denominada britagem terciária.

Na Figura 20 à distância Y é o que se denomina abertura fixa posição fechada APF, que é de grande importância na calibração das centrais de britagem, tanto no aspecto de produção instantânea das unidades, em m^3 / h ou t / h , como na granulometria do produto.

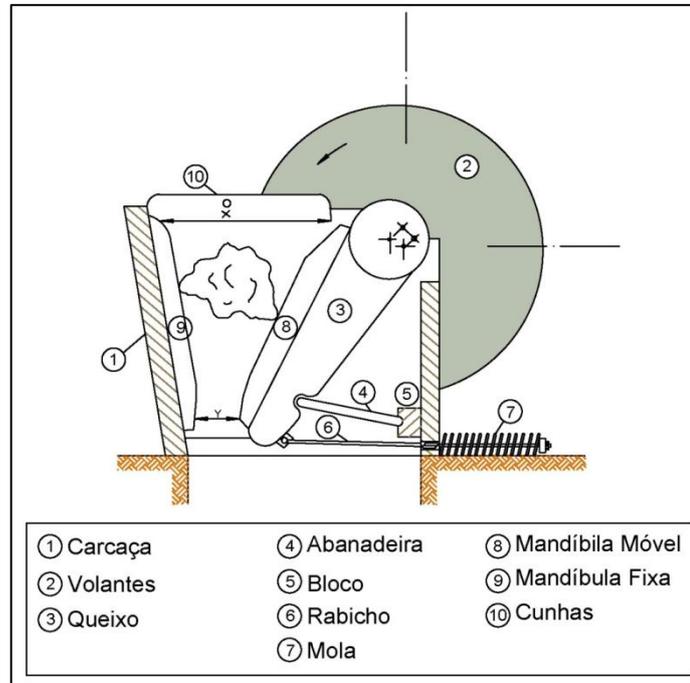


Figura 20 - Seção-tipo de um britador de mandíbulas.
Fonte BAUER (2000)

A Figura 21 é uma seção genérica de um britador de Cone, no fluxograma apresentado este rebitador responde pela britagem terciária.

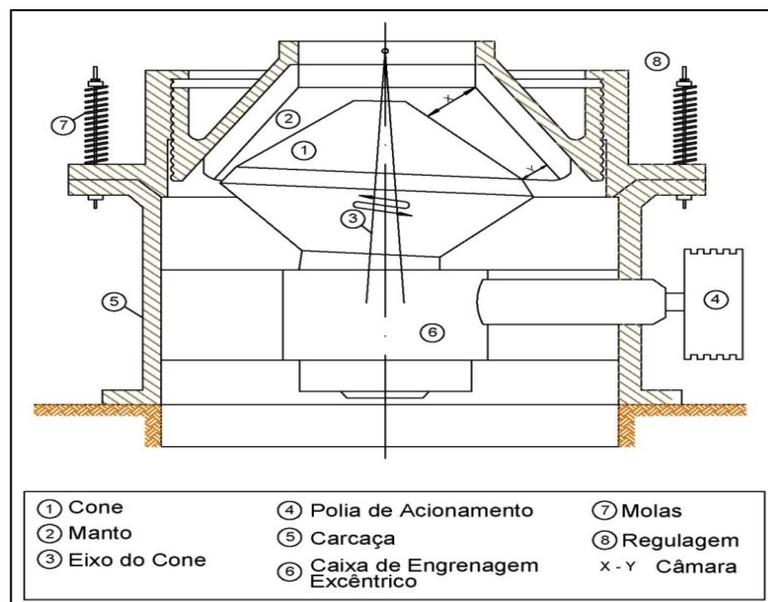


Figura 21 - Seção tipo de um britador cone.
Fonte: BAUER (2000)

Para separação granulométrica do material originário das diversas etapas da operação de britagem utilizam-se peneiras vibratórias. A Figura 22 é uma seção tipo de uma peneira vibratória.

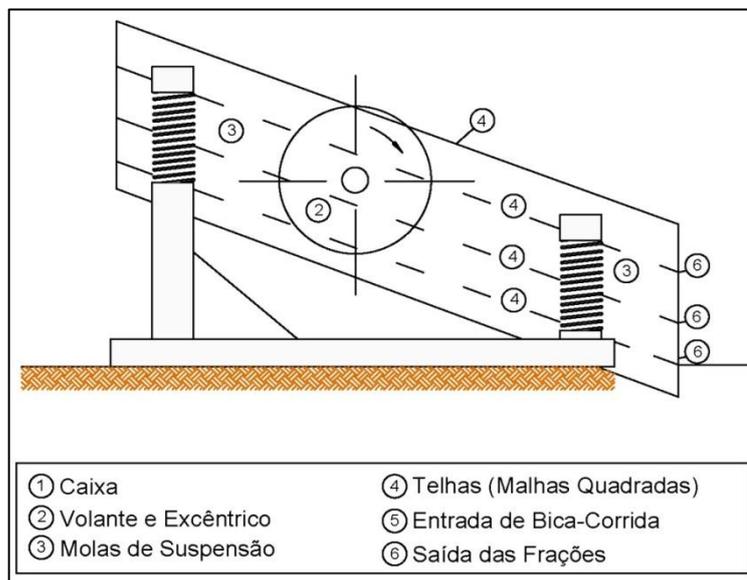


Figura 22 - Seção tipo de uma peneira vibratória.
Fonte: BAUER (2000)

Em situações de britagem quaternária, pode-se optar por cones. Contudo, o equipamento mais indicado é o impactador autógeno de eixo vertical (VSI).

Segundo a Metso (2005) o VSI é simplesmente a inovação mais inteligente em britagem e moagem nos últimos 50 anos.

O britador de impacto de eixo vertical (VSI) do tipo autógeno (Figura 23), que utiliza o princípio do choque entre pedaços de rochas para sua quebra, estabeleceu-se como equipamento padrão para a produção de areia de brita no Brasil. A esmagadora maioria das instalações, especialmente nos novos projetos, utiliza britadores VSI autógenos.

As razões para essa predominância são muitas, entre as quais se destaca a possibilidade de processar o pó de pedra e transformá-lo em areia de brita, algo inviável com o uso de outro tipo de britador. Várias instalações de produção de areia foram originalmente projetadas para processar o estoque de pó de pedra, acumulado ao longo de muitos anos de operação de pedreiras - e que representavam grande passivo ambiental.

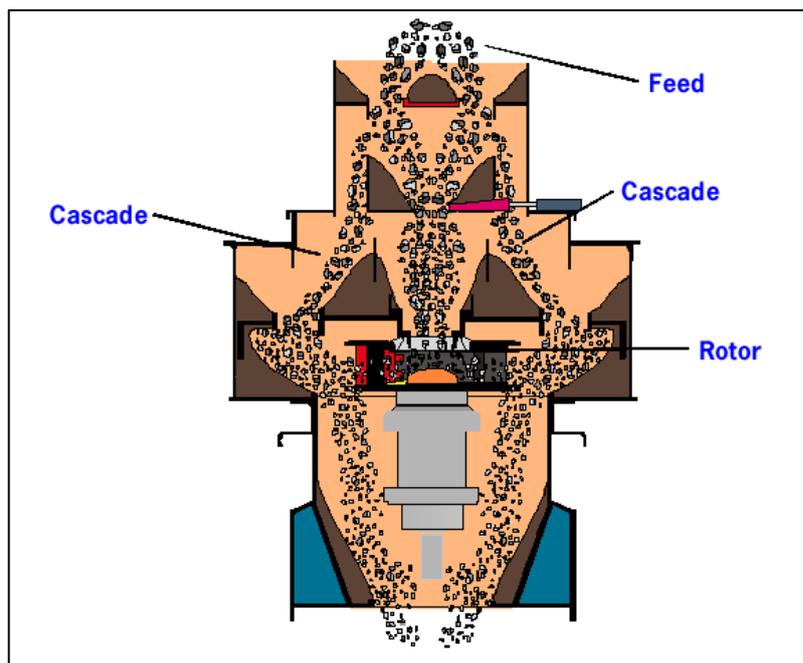


Figura 23 - Seção tipo de um britador VSI autógeno
Fonte: Metso (2005)

A simplicidade mecânica, a menor sensibilidade à umidade e a flexibilidade na granulometria de alimentação também figuram entre os fatores que contribuem para a preferência do VSI na produção de areia de brita. O britador VSI do tipo shoe & anvil (não autógeno) foi abandonado nessa atividade, devido ao seu alto custo operacional e ao formato das partículas geradas, que é pior em comparação com o equipamento do tipo autógeno.

O produto resultante do britador do tipo VSI autógeno possui partículas arredondadas em toda a faixa granulométrica, o que o torna mais semelhante à areia natural e confere melhor trabalhabilidade na produção de concreto. Isso facilita o bombeamento, uma característica muito importante devido à predominância desse tipo de lançamento do material durante as concretagens.

A possibilidade de produzir areia para argamassa (normalmente abaixo de 2,4 mm), cujo consumo está em forte crescimento, também contribui para o uso de britadores do tipo VSI autógeno. Embora seja possível utilizar os britadores de cone, eles teriam maior dificuldade para produzir areia nessa granulometria.

O material passante na peneira de abertura 0,075 mm deve ser submetido a processo de lavagem, a fim de eliminar a fração constituída de finos minerais. Atualmente existe empresa que fornece equipamentos para redução total ou parcial do percentual de microfinos, por via úmida ou por via seca.

2.11 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Os parâmetros para caracterização geotécnica das rochas são quatro (MARANGON, 1995):

- a) grau de alteração;
- b) grau de resistência à compressão simples;
- c) grau de consistência;
- d) grau de fraturamento.

Os três primeiros parâmetros se aplicam tanto a amostra de rochas como a maciços rochosos, enquanto grau de fraturamento só se aplica a maciços rochosos, sendo as medidas efetuadas em furos de sondagens ou em levantamentos de paredes e cortes, ao longo de uma determinada direção. Cada parâmetro, individualmente, tem expressão limitada e só adquire real valor quando associado aos outros.

2.11.1 Grau de alteração

Podemos considerar três graus de alteração: rocha praticamente sã, alterada e muito alterada. Esta classificação é muito subjetiva, prende-se ao fato que o emprego de maior número de graus é pouco prático. É conveniente lembrar que nos três graus acima não se inclui rochas extremamente alterada, que deve ser considerada material de transição ou solo de alteração de rocha.

2.11.2 Grau de resistência à compressão simples

Representa um parâmetro que tem tido grande aceitação no meio geotécnico. É relativamente fácil de se obter, com reduzido número de corpos de prova. No quadro a seguir, as rochas são subdivididas em cinco níveis de resistência à compressão.

Tabela 8 - Grau de resistência a compressão simples

Rocha	Resistência (kg/cm ²)
Muito resistente	>1200
Resistente	1200 - 600
Pouco resistente	600 - 300
Branda	300 - 100
Muito branda	<100

Fonte: Marcio Marangon (1995)

2.11.3 Grau de consistência

O parâmetro a seguir baseia-se em características físicas facilmente determináveis: resistência a impacto (tenacidade) resistências aos riscos (dureza) e friabilidade. As rochas são assim divididas em quatro níveis de consistências: rocha muito consistente, rocha consistente, rocha quebradiça, rocha friável.

2.11.4 Grau de fraturamento

No geral é apresentada em números de fraturas por metro linear, em sondagem ou em paredes de escavação ao longo de uma duração.

Considerando-se, ligeiramente, apenas as fraturas originais e não as provocadas pela própria perfuração ou escavação.

Tabela 9 - Grau de faturamento

Grau de fraturamento	Número de fraturas por metro
Rocha ocasionalmente fraturada	< 1
Pouco fraturada	01_05
Medianamente fraturada	06_10
Muito fraturada	11- 20
Extremamente fraturada em fragmentos	>20
	Torrões ou pedaços de diversos tamanhos caoticamente dispostos

Fonte: Marcio Marangon (1995)

2.12 ENSAIOS DE MINERALOGIA E PETROGRAFIA

O contexto geológico da cidade de Salvador (BA) e região metropolitana está posicionado, segundo Almeida (1977), próximo à confluência de duas grandes unidades tectônicas do Cráton do São Francisco:

- a) a Faixa Salvador-Esplanada, que é alongada na direção $N45^\circ$ sendo representada por ortognaisses migmatíticos de afinidade alcalina a subalcalina e por ortognaisses com afinidade cálcio-alcalina, além de gabros anfibolitizados com filiação toleítica e granitos com tendência alcalina (Oliveira Junior 1990).
- b) o Orógeno Itabuna-Salvador-Curacá, orientado na direção $N10^\circ$, é constituído por ortognaisses de composição TTG (tonalito-trondjhemito-granodiorito), de idade arqueana (Silva et al. 1997), com intercalações de rochas supracrustais, e rochas máficas-ultramáficas arqueanas (Silva et al. 1997). Estes segmentos crustais foram fortemente afetados pela tectônica paleoproterozoica e reequilibrados nas fácies granulito.

Barbosa et al. (2005) descreveram, na cidade de Salvador e Região Metropolitana, uma grande diversidade de rochas metamórficas de alto a médio grau, exibindo deformações polifásicas, por vezes cortadas por corpos máficos e monzo-sienograníticos (Barbosa; Sabaté 2002, 2004, apud Souza et al. 2010).

Segundo Barbosa et al. (2005) foram registradas, no mínimo, três fases de deformação dúctil contínuas. Na primeira fase as principais estruturas são dobras recumbentes com eixos subhorizontais, com planos axiais subverticais e eixos horizontais, as quais foram redobradas isoclinalmente na segunda fase. A terceira fase está materializada por zonas de cisalhamento transcorrentes subparalelas às superfícies axiais das dobras isoclinais, com lineações de estiramento mineral que são paralelas aos eixos dessas dobras. Inúmeras falhas e fraturas cortam as rochas do embasamento de Salvador, sendo mais significativas aquelas com orientação $N060^\circ$ - $N090^\circ$, associadas à intrusão de diques máficos, as de direção $N120^\circ$ - $N160^\circ$, associadas aos corpos tabulares e veios monzo-sienograníticos e ao sistema de falhas de Salvador, as Falhas do Iguatemi e do Jardim de Alah, com orientação $N030^\circ$ e $N040^\circ$ (Barbosa et al. 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As jazidas de rochas granulíticas situadas na Região Metropolitana de Salvador, frequentemente estão cobertas por um manto de solo residual. Para estudo de caso foi escolhida as Pedreiras Parafuso, cujo manto tem espessura média em torno de 20 metros, conforme perfil de sondagem realizado pela LCL Engenharia e Consultoria Ltda, em 2008 e concorde com os ensaios de caracterização geotécnicos realizados pela LCL e pelo Laboratório de Geotecnia da EPUFBA. Foram identificados quatro horizontes bem definidos no manto em referência.

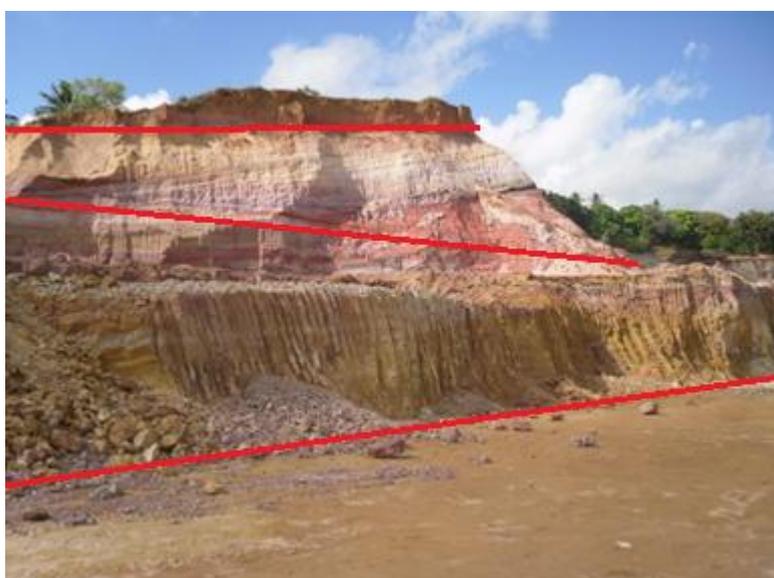


Figura 24 - Horizontes do manto de intemperismo, identificados nas Pedreiras Parafuso (ver o horizonte 4 na Figura 25).

Fonte: PEDREIRAS PARAFUSO (2009)

Horizonte 1, composto de solo vegetal, usado em recuperação de áreas degradadas.

Horizonte 2, composto de solo classificado como o HRB A-1-b, isoladamente atende às especificações do DNER (ES301/97), podendo ser usado como sub-base em camadas de pavimento flexível para qualquer tipo de tráfego. Quando se preparou os finos de britagem nas proporções indicadas, de 30% arenoso mais 70% finos, e a mistura composta por 70% de arenoso mais 30% de finos, ambas as misturas atendem às especificações do DNER ES 303/97 na construção da camada de base para tráfego, definido quando $N < 5 \times 10^6$ (tráfego leve). Em estudo nas Pedreiras Parafuso, foi feito o ensaio utilizando a mistura de 50% de

arenoso mais 50% bica corrida com diâmetro máximo de uma polegada, a qual demonstrou um grande potencial de ser usada como base para qualquer tipo de tráfego.

Horizonte 3, de solos classificados HRB A-2-7, A-2-5 e A-6, com permeabilidade igual a $1,7 \times 10^{-7}$ cm/seg, $1,6 \times 10^{-7}$ cm/seg e $1,8 \times 10^{-7}$ cm/seg respectivamente, com utilização e qualidade comprovada em camadas de impermeabilização de aterros sanitários, lagoas de estabilização, aterros rodoviários e núcleos de barragens de terra.



Figura 25 - Mostrando contato entre solo e rocha.
Fonte: PEDREIRAS PARAFUSO

Horizonte 4, classificado como solos saprolíticos e limitado pelo contato entre rocha e solo. Material usado como revestimento primário nas pistas de rolamento dos acessos e caminhos de serviço de circulação interna da lavra.

A Figura 24 identifica os três primeiros horizontes e a Figura 25 identifica o quarto horizonte, que é o contato entre o maciço rochoso e o maciço terroso. Observe-se o rigor necessário da limpeza entre o contato maciço rochoso e o solo, a fim de evitar contaminação da primeira bancada (rocha) por materiais não condizentes com a qualidade do produto desejado.

O rigor do tratamento dispensado na junção do saprolito com o maciço rochoso é idêntico ao tratamento de fundação em rocha na barragem de terra. Os mesmos procedimentos devem ser adotados.

3.1 EXTRAÇÃO

A extração compreende três etapas que são: remoção do capeamento, lavra do granulito e britagem.

A primeira etapa (remoção do capeamento) é indispensável, antes de iniciar a produção da jazida mineral. As operações de decapeamento ocorrem nas estações secas, são intermitentes e simultâneas aos trabalhos de lavra. Faz-se o decapeamento de certa porção da jazida começando preferencialmente pelas cotas mais altas, como representado na Figura 26.



Figura 26 - Operação de decapeamento nos horizontes 1 e 2.
Fonte: PEDREIRAS PARAFUSO

As áreas destinadas aos bota-foras são escolhidas, delimitadas e apresentadas previamente ao INEMA, para obtenção de Licença Ambiental, respeitando os parâmetros legais, sociais, ambientais e técnicos, de acordo com a legislação em vigor.

As Pedreiras Parafuso tem áreas destinadas à compensação dos impactos ambientais decorrentes da sua atividade. A realização destas medidas compensatórias ocorre com a reposição vegetal, utilizando-se espécies arbóreas nativas através do adensamento florestal.

A segunda etapa compreende a lavra das rochas do embasamento, sendo adotado o princípio de lavra a céu aberto, do tipo em cava, executada em bancadas de 12,00 m de altura e com berma ampla, permitindo o tráfego e manobra dos equipamentos. A extração da rocha é

feita pelos processos convencionais, conforme elementos do plano de fogo adotado pela pedreira, sendo:

- a) broca de perfuração de 3 polegadas de diâmetro;
- b) inclinação da bancada 15° ;
- c) comprimento do furo: $12/\text{cosseno}15^\circ + 0,50 \text{ m} = 12,50 + 0,50 = 13,00 \text{ m}$;
- d) malha de perfuração: Disposição dos furos em estria com afastamento = 2,20 e espaçamento = 4,60m Razão de carregamento = 490g por metro cúbico;
- e) tampão = 2,00 m;
- f) utilização de retardos entre linhas de 17 ms e retardos de 25 ms entre furos.

O explosivo utilizado é uma emulsão bombeada de alta potência, tendo como componente principal o nitrato de amônia, de densidade em torno de $1,15 \text{ g/m}^3$.

A preparação da detonação começa quando se coloca em todos os furos, um reforçador (booster), que nada mais é que um pequeno tubo que contém Pentolite para iniciar a detonação do fundo do furo. Cada Pentolite é ligado por um tubo de choque, que contém um retardo de 250ms. Logo após a introdução do booster, preenche-se o resto do furo com a emulsão bombeada. Após essa etapa, liga-se todos os furos em função do plano de fogo, com seus retardos. O furo que foi definido para ser o primeiro a ser detonado, é ligado a um tubo de choque com comprimentos que variam de 300 a 500m, para que a detonação seja iniciada com segurança.

Para perfuração da bancada é utilizada uma perfuratriz sobre carreta marca Wolf Modelo MW- 500 H, acionada por um compressor Ingersol Rands de 850 pcm.

Os blocos de rocha com diâmetro máximo superior a 0,80 m, são reduzidos a diâmetros menores, pelo processo de fragmentação secundário, com a utilização de rompedores hidráulicos (Figura 27), acionados por uma escavadeira de esteira, de 134,23 Kw de potência. Este processo é mais seguro e econômico do que a utilização de fogachos. O índice de fragmentação em relação ao volume de rocha detonada, varia em torno dos 5% ou seja, o volume de material que necessita de uma fragmentação secundaria equivale a 5% do volume de rocha obtida por detonação. Isto demonstra a eficiência de toda metodologia usada na extração da rocha.

Após as etapas de perfuração, desmonte e fragmentação secundária são realizadas as operações de carregamento e transporte do material desmontado até o alimentador da planta industrial.



Figura 27 - Fragmentação de blocos de rocha com rompedor hidráulico.
Fonte: PEDREIRAS PARAFUSO

Para o carregamento, é utilizada escavadeira de esteira de concha com capacidade de $2,30 \text{ m}^3$ e $197,63 \text{ Kw}$ de potência. O transporte se faz usando caminhões basculantes próprios para transporte de minério, com capacidade de transportar $26,80$ toneladas.

Os caminhões basculantes transportam a rocha desmontada da mina até o alimentador vibratório do britador primário. Essas operações seguem um ciclo operacional onde são avaliados os tempos de carregamento, transporte para alimentar o britador primário e retorno para novo carregamento.

O carregamento e descarregamento são feitos com o veículo desligado e travado, de acordo com a norma pertinente. A área da descarga é devidamente sinalizada, delimitada e protegida contra quedas acidentais de pessoas ou equipamentos.

A mina possui plano de trânsito que estabelece regras de preferência de movimentação e distancia mínima entre as máquinas, equipamentos e veículos, compatíveis com a segurança. O tráfego nas vias de acesso à mina tem a velocidade controlada não podendo exceder 30 Km/h ; os acessos são sinalizados de modo adequado para a segurança operacional e dos trabalhadores; nos cruzamentos e locais de ramificações são indicadas as direções e saídas da

mina. A via é mantida desobstruída e o controle de poeiras é feito com carro pipa, periodicamente.

A terceira etapa compreende os processos de britagem e classificação. A britagem consiste na fragmentação mecânica de blocos de rocha detonada com diâmetro máximo inferior a 0,80 m e a classificação é feita por peneiras vibratórias a seco. A planta de britagem foi projetada de forma a aperfeiçoar o processo para obter o máximo aproveitamento da rocha atendendo às condições de segurança e preservação ambiental, conforme a legislação vigente.

A britagem primária (Figura 28) das Pedreiras Parafuso se processa através dos equipamentos de alimentação e de britadores de mandíbulas, reduzindo o material para $d \leq 200\text{mm}$.

Todo material resultante, processado na britagem primária, é estocado provisoriamente em pilhas de estoque, em forma de cone, denominado pilha pulmão.

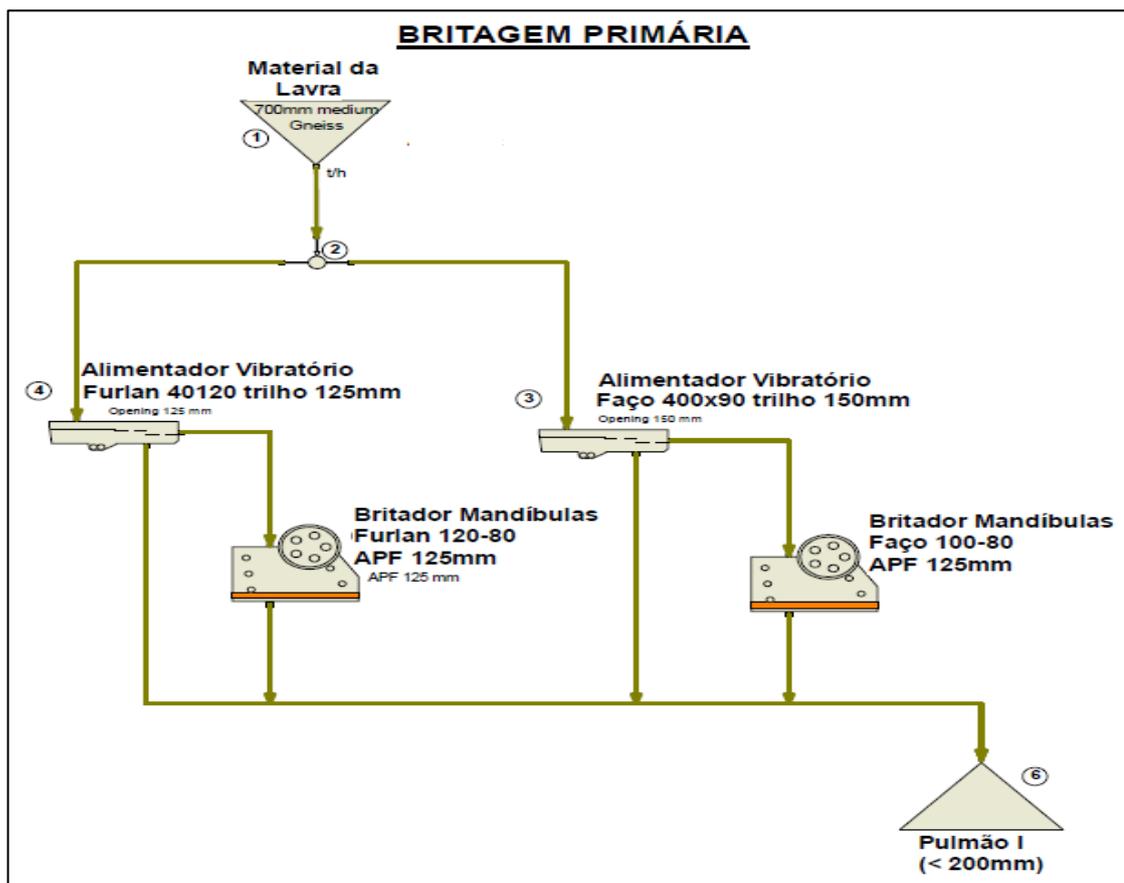


Figura 28 - Fluxograma da britagem primária
Fonte: PEDREIRAS PARAFUSO (2010)

A partir do pulmão, que armazena material com dimensões menores ou iguais a 200 mm, inicia-se a britagem secundária (Figura 29). As linhas vermelhas indicam o trajeto do circuito fechado com ação do “rebritador cone de 400 HP”. As linhas azuis indicam o fluxo da britagem terciária em circuito fechado, com alimentação do VSI, com brita de diâmetro máximo $d=50$ mm. Finalmente as linhas verdes conduzem o fluxo até as pilhas de material produzido.

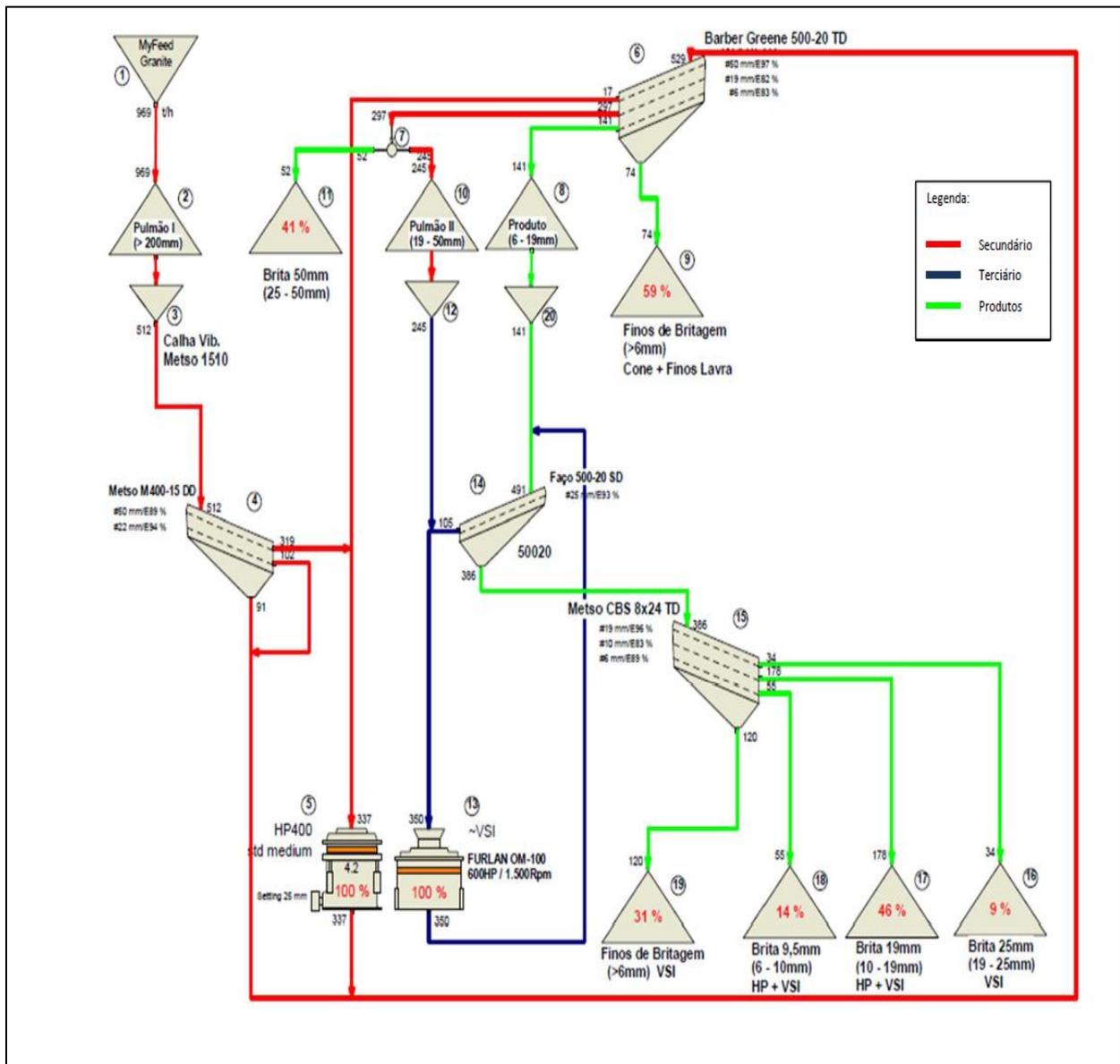


Figura 29 - Fluxograma padrão, Pedreiras Parafuso mostrando as etapas de britagem secundária e terciária.
Fonte: PEDREIRAS PARAFUSO (2010)

O resultado da produção da planta de britagem são as britas das pilhas 11, 16, 17 e 18. As pilhas 9 e 19 se referem aos finos de britagem que são objetos de estudo.

A pilha número 9 representa os finos de britagem com diâmetro máximo maior ou igual a 6,00 mm. O produto da cominuição do material pétreo pelo “Britador cone de 400 HP” corresponde aos finos do cone, mais os finos da britagem primária, mais os finos da lavra.

A pilha número 19 é constituída por finos de britagem com diâmetro máximo maior ou igual a 6,00mm.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA NATURAL E PROCESSO PRODUTIVO

As areias da Otomar Mineração são as areias brancas da Formação Marizal, que ocorrem nos municípios de Camaçari e Dias D’Ávila. A empresa é responsável por mais de 80% da produção de areias para construção civil na Região Metropolitana de Salvador. Os 20% restantes são produzidos pelas mineradoras AM Mineração e Prescal Mineração e por clandestinos pontuais.

Todo o processo produtivo da Otomar Mineração é mecanizado. Inicia-se com a limpeza simples do terreno utilizando-se tratores de pequeno porte. Após a limpeza, seguem-se as operações de escavação, formando taludes de alturas variáveis entre 4 a 12 metros. As frentes de escavação tem o formato de ferradura, o que facilita as operações de carga das carregadeiras de pneus e a mobilidade dos caminhões basculantes, que transportam o produto até aos depósitos das concreteiras e pátios de estocagem das usinas de concreto asfáltico.

3.3 AMOSTRAGEM

Amostragem é o processo de coleta de amostras segundo definição da ABNT NBR NM 26 (2009). A amostra de campo é a porção representativa de um lote de agregados, coletados nas condições prescritas nesta Norma.

A coleta de amostra da areia natural da Mineração Otomar foi feita com base no princípio de amostragem, a partir da aquisição de um caminhão caçamba contendo 10,00 m³. Deste volume, equivalente a uma quantidade em peso 16000 kg, retiramos 480 kg em oito

sacos de 60 kg. Todo este material foi transportado e acolhido no Laboratório da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

A coleta da areia artificial foi processada em dia de expediente normal, após a central de britagem estar em funcionamento por mais de 4 horas. Cada amostra foi recolhida em bolsa plástica que interceptou o fluxo completo da descarga da correia transportadora que conduz o produto do britador VSI (Figura 30). Este lote foi composto de 15 amostras parciais, pesando 32 kg, sendo o peso total do lote de 480 kg.



Figura 30 - Coleta de amostra da areia britada na pilha pulmão.
Fonte: PEDREIRAS PARAFUSO

Das amostras estocadas no laboratório da EPUFBA, separou-se duas amostras com pesos variados para cada tipo de areia, e procedeu-se à redução das amostras conforme indicado na NBR NM 27. Para cada ensaio utilizou-se a respectiva amostra reduzida conforme a metodologia da NBR NM 27. Foi utilizado o separador mecânico (quarteador) que pode ser visto na Figura 31. As amostras foram repartidas para manter a representatividade. Para cada teste a ser feito, foram tomadas duas amostras M1 e M2; nos ensaios com amostra única, M1 e M2 foram juntadas. Foi então realizada homogeneização manual da amostra através da rolagem do material em encerado e retirada aos poucos, aleatoriamente, a quantidade necessária.

Como ainda não existem normas específicas para manejo de areia artificial, foram usadas normas de geotecnia e de agregados para concreto, para proceder a análise granulométrica de ambas as areias.



Figura 31 - Quarteador, laboratório Holanda Engenharia
Fonte HOLANDA ENGENHARIA

3.4 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

No laboratório da EPUFBA foram feitos ensaios de análise de granulometria segundo ABNT NBR 7181 (1982). Os resultados dos ensaios foram utilizados para a construção das curvas de distribuição granulométrica, de grande importância na estimativa de parâmetros para filtros e permeabilidade.

O objetivo da NBR 7181 é normatizar os ensaios de granulometria através do peneiramento e sedimentação, para obter a curva granulométrica do material ensaiado. Os principais equipamentos e utensílios utilizados no ensaio são: balança, almofariz e mão de grau; cápsulas para determinação de umidade; estufa; jogo de peneiras (50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 2,0; 1,2; 0,6; 0,42; 0,30; 0,15; 0,075mm); agitador de peneiras; dispersor elétrico; proveta graduada de 100ml; densímetro graduado de bulbo simétrico; termômetro; cronometro. A preparação da amostra se faz selecionando uma quantidade representativa P_1 de material, seco ao ar ou úmido; determina-se sua umidade; em seguida passa-se a massa P_1 na peneira # 10 (2,0 mm). Do material que passar, separa-se 03 quantidades: $P_2 = 20g$ para

determinação do peso específico real das partículas; $P_3 = 50$ a 100 g para sedimentação; $P_4 = 200$ a 600 g para o peneiramento fino.

Primeiramente foi realizado o peneiramento grosso (material retido na peneira #10), e o material retido foi lavado e em seguida colocado na estufa; peneirou-se mecanicamente o material a seco, pesa-se a fração retida em cada peneira. Posteriormente realizou-se o peneiramento fino (material que passa na peneira #10), lavando-o na peneira #200 (0,075mm) e em seguida colocando-o na estufa; passou-se o material seco nas peneiras de abertura entre #10 e #200; pesou-se a fração retida em cada peneira. Na sedimentação colocou-se a massa P_3 em “banho” (6 a 24 horas) com defloculante (solução hexametáfosfato de sódio); agitou-se a mistura no dispersor elétrico por 5 a 15 minutos; transferiu-se a mistura para a proveta graduada, completando com água destilada até 1000 ml e realizou-se o balanceamento; efetuou-se leituras nos densímetros nos instantes de 30s, 1, 2, 4, 8, 15, 30min, 1, 2, 4, 8, 25 h.

Para a determinação da composição granulométrica das areias artificial e natural, foram solicitados ensaios no laboratório Holanda Engenharia, conforme o método da ABNT NBR NM248 (2003). A aparelhagem utilizada para o processo foi uma balança com resolução de 0,1% da massa da amostras, estufa, agitador mecânico, bandejas, escova; peneira, tampa e fundo; conjunto de peneiras.

A massa mínima para o ensaio é proporcional à dimensão máxima do agregado e deve estar de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 - Relação da massa mínima necessária com a dimensão do agregado

Dimensão máxima do agregado(mm)	Massa mínima da amostra (kg)
<4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fonte: ABNT NM 248

No ensaio foram formadas duas amostras M1 e M2 (NBR 27:2001), secas em estufa a 100⁰ C e pesadas (M1, M2) à temperatura ambiente; as peneiras foram agitadas manualmente até que o material passante fosse inferior a 1% da massa total da amostra ou fração, em 1 minuto de agitação; o material retido em cada fração é então pesado na balança de precisão.

É importante salientar que a precisão recomendada (o somatório das massas deve diferir, no máximo, 3% da massa inicial da amostra seca) foi alcançada.

3.5 MATERIAIS PULVERULENTOS - NBR NM 46

Materiais pulverulentos são definidos como partículas minerais com dimensão inferior a 75 µm, incluindo os materiais solúveis em água presentes nos agregados.

Para a realização do ensaio utilizamos uma balança com resolução de 0,1% da massa da amostra, estufa e peneiras com aberturas de malhas de 1,6 mm a 75 µm. A massa mínima para o ensaio deve ser proporcional à dimensão máxima das partículas do agregado e estar de acordo com a tabela (ABNT NBR NM 46).

Tabela 11 - Relação da massa mínima com a dimensão do agregado

Dimensão máxima do agregado (mm)	Massa mínima da amostra (g)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19	2500
37,5 ou superior	5000

Fonte: ABNT NM 46

O procedimento experimental para esse ensaio se desenvolveu a partir da secagem da amostra em estufa a 100⁰C, obtendo-se a massa inicial M_i . Essa por sua vez, foi colocada em um recipiente, recoberta de água e com adição de um agente dispersante (detergente líquido), sendo agitada vigorosamente e vertida parte da água para outro recipiente através de peneiras. Essa operação foi repetida até que a água de lavagem se tornou límpida, devolvendo o material retido nas peneiras para o recipiente. Ao final, secou-se o material e determinou-se a

massa à temperatura ambiente M_f . O teor de materiais pulverulentos foi calculado pela relação percentual:

$$\text{mat pulv.} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (28)$$

3.6 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE - NBR 13292

Para determinação do coeficiente de permeabilidade, é necessário que se anteceda a determinação da massa específica segundo ABNT NBR 6508, do índice de vazios máximo conforme ABNT NBR 12004/90 e a determinação do índice de vazios mínimo conforme ABNT NBR 12051 / 91.

O ensaio de Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Granulares à Carga Constante permite a verificação do coeficiente à carga constante, com água percolando através do solo, em regime de escoamento laminar. A aplicação deste método é restrita a solos granulares contendo, no máximo, 10% em massa de material que passa na peneira de 0,075mm. São utilizados: reservatório com filtro, funil, equipamentos para compactação, bomba de vácuo, tubos manométricos, balanças, barras de calibração e peneiras com 19mm, 9,5mm, 2mm e 0,075mm de abertura.

Alíquotas da areia natural e do britador VSI foram previamente secas ao ar e peneiradas para garantir de acordo com a norma a condição de menos de 10% de material passante na peneira de 0,075mm. Após determinar a massa específica dos grãos, foi feito o peneiramento para o ensaio de permeabilidade nos grãos passantes na peneira 19mm. Desse material passante foi selecionada, por quarteamento, uma quantidade aproximadamente igual a duas vezes aquela necessária para preencher o permeâmetro.

Com o permeâmetro do tipo um, foi tomada uma pequena porção da amostra preparada anteriormente, para determinação do teor de umidade h . Em seguida foi registrada a massa do material remanescente M_1 . O solo é depositado em camadas uniformes, com altura adequada; após a compactação, a espessura resultante foi de 2cm. O topo desse corpo de prova situou-se a 2cm acima da abertura para o tubo manométrico superior. A compactação relativa foi por tentativa, em recipiente de mesmo diâmetro que o permeâmetro, ajustar a

compactação para se obterem repetitivos de compactação para se manterem valores repetitivos da compacidade relativa desejada.

Para o ensaio de permeabilidade nivelou-se o topo do corpo de prova, imprimindo um leve movimento de rotação ao disco perfurado colocado em sua posição. Com a barra de calibração apoiada nas bordas da parte superior do permeâmetro, foi medida e anotada, com auxílio do paquímetro, a profundidade compreendida entre a parte superior da barra de calibração e o topo do disco perfurado. As medições foram efetuadas em quatro posições simetricamente espaçadas, mudando a posição da barra, anotando-se a média das medidas (A2).

O material foi então colocado no permeâmetro e posteriormente o prato superior. As ligações foram feitas com a válvula da base fechada e a válvula do topo aberta; em seguida, aplicou-se um vácuo gradativamente crescente, até atingir 67KPa (50cmHg), o qual foi mantido durante 10min, para remover o ar dos espaços vazios. Aplicou-se também o vácuo no reservatório de água destilada superior a 80KPa (60cmHg). A válvula da base foi então aberta, procedendo-se à saturação do corpo de prova, elevando-se gradualmente o reservatório de água. A elevação manteve o gradiente hidráulico atuante no corpo de prova (da ordem de um). Após a saturação e preenchimento do permeâmetro com água, reduziu-se gradualmente o vácuo aplicado no corpo de prova e no reservatório de água, até que ele se anulou. Posteriormente, fechou-se a válvula da base do permeâmetro e desconectou-se as ligações com o permeâmetro e o sistema de manômetros estava livre de ar e trabalhando satisfatoriamente.

Com todas as válvulas abertas, aguardamos que as cargas se estabilizassem sem apresentar variações apreciáveis nos níveis de água dos tubos manométricos. Em seguida, mediu-se e registrou-se a carga H (diferença entre os níveis dos tubos manométricos), a temperatura T , o tempo t e o volume percolado neste tempo Q , com exatidões de 0,1cm, 0,1°C, 1s e 2cm³, respectivamente. Aumentando-se a carga de 0,5cm em 0,5cm, repetiu-se o procedimento descrito, de modo a estabelecer adequadamente a região do fluxo laminar, na qual a velocidade é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico.

Finalmente drenou-se o corpo de prova e verificou-se visualmente se ele se apresentava homogêneo e isotrópico em suas características, efetuando-se a verificação de sua altura final.

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, primeiramente calculou-se a velocidade de fluxo ($v = Q/S_t$), multiplicando esta velocidade pela relação da viscosidade da água a 20°C ($V^t/V_{20°C}$), onde T é a temperatura da água no ensaio. Após, foi construída a melhor reta com a temperatura em °C na ordenadas e na abscissa o gradiente hidráulico ($i = H/L$). Esta reta deve passar pela origem. O coeficiente angular dessa reta corresponde ao coeficiente de permeabilidade (k) em °C (normalmente na faixa de 20°C a 25°C).

3.7 CICLAGEM ARTIFICIAL ÁGUA-ESTUFA - NBR 12696

Este ensaio foi realizado para a verificação do comportamento dos agregados, quando submetidos a ciclos alternados de imersão em água e secagem em estufa. As peneiras para o ensaio estão definidas pela NBR 5734; a amostragem de agregados pela NBR NM 26 e a redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório pela NBR 9941. Os materiais utilizados no ensaio foram balanças e pesos, peneiras de 76 mm e 19 mm conforme NBR 5734, estufa, recipientes para imersão em água, recipientes para secagem em estufa e luvas de segurança.

No exame quantitativo determinou-se a perda de massa em relação à massa inicial da amostra de ensaio através da fórmula:

$$\text{Perda de massa}(\%) = \frac{m_g - m}{m} \times 100 \quad (29)$$

Onde m_g é a massa das partículas da amostra em gramas e m é a massa das partículas da amostra, retidas nas peneiras de 19 mm, ao final de cada ciclo, em gramas.

O exame qualitativo consiste em examinar visualmente as partículas, registrando o número daquelas afetadas. Os tipos de ataque mais comuns são desintegração, rachadura, fissuração e lasqueamento.

A finalidade do ensaio é verificar a presença de minerais expansivos, especialmente do grupo das montmorilonitas ou ilitas, responsáveis por variações volumétricas quando submetidos à molhagem e secagem. As variáveis volumétricas podem levar o agregado e o concreto à desintegração.

O procedimento experimental consistiu na coleta do material proveniente da jazida, que foi classificado eliminando-se as porções retidas e passantes nas peneiras 76mm e retida na 19mm. Antes do peneiramento o material foi jateado com água para retirada de pó fino. Em seguida, o material foi seco em estufa até atingir constância de massa e posteriormente resfriado durante (60 ± 5) min em ambiente com temperatura e umidade controladas, sendo pesada com exatidão de 0,1% e registrando-se a massa inicial m_o , em gramas. Com a amostra seca e pesada, iniciaram-se os ciclos de imersão e secagem em estufa, da seguinte forma: imersão da amostra em água durante (14 ± 1) h; secagem da amostra em estufa durante (8 ± 1) h; resfriamento da amostra durante (60 ± 5) min. Iniciar o ciclo seguinte com imersão da amostra em água durante (14 ± 1) h.

A duração do ensaio foi de 120 ciclos. O relatório do ensaio forneceu: tipo e procedência do agregado; massas inicial e final da amostra, em gramas; correspondente perda em % para cada ciclo; número das partículas ensaiadas; percentagem de afetadas e tipos de reação observada.

3.8 CICLAGEM ACELERADA COM ETILENOGLICOL - NBR 12697

Este ensaio foi realizado para avaliação do comportamento dos agregados mediante ciclagem acelerada com etilenoglicol.

Para realização do ensaio foram utilizados balanças, pesos; as peneiras de 76 mm, 64mm, 50mm, 38 mm, 25 mm e 19 mm, estufa, recipientes para imersão da amostra no reagente, recipientes para secagem em estufa e luvas de segurança.

No exame quantitativo foi determinada a perda de massa em relação à massa inicial da amostra de ensaio, através da fórmula:

$$\text{Perda de massa}(\%) = \frac{m_g - m}{m} \times 100 \quad (30)$$

Onde m_g é a massa das partículas da amostra em gramas e m é a massa das partículas da amostra, retidas nas peneiras de 19 mm, ao final de cada ciclo, em gramas.

A amostra do ensaio foi coletada de acordo NBR NM 26 e reduzida conforme NBR 9941 sendo constituída de partículas passantes na peneira de 76 mm e retidas na peneira de 19 mm; deve pesar (5 ± 2) kg, conforme consta na norma.

O exame qualitativo consistiu em examinar visualmente as partículas, registrando o número das afetadas. As reações mais comuns foram: desintegração, rachadura, fissuração e lasqueamento.

O etilenoglicol é um dos produtos que reage com as argilas expansivas do grupo das montmorilonitas para formar um complexo organoargiloso de maior volume. Dependendo da quantidade e distribuição de argila expansiva e da capacidade de absorver o etilenoglicol, pode ocorrer a desintegração expansiva da amostra.

Ocorrendo a desintegração do material submetido ao ensaio, é esperado que este ocorra com amostras da mesma rocha expostas por longo tempo, à molhagem e secagem e ao congelamento e degelo em uma condição de serviço em meio saturado

Os resultados deste ensaio devem ser tomados como base para comparação da resistência relativa de diferentes tipos de materiais considerados para o mesmo uso.

A sala destinada à realização dos exames qualitativo e quantitativo, manutenção em imersão e resfriamento da amostra deve possuir dispositivos que permitam manter a temperatura ambiente em (23 ± 2) C° e a umidade entre 50% a 85%.

O procedimento experimental consistiu na análise do material proveniente da jazida que é classificada eliminando-se as porções retidas e passantes nas peneiras limites. Antes do peneiramento o material foi jateado com água para retirada do pó ou outros materiais fracamente aderidos, e pesados com exatidão.

As frações retidas nas peneiras de 76mm, 64mm, 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm foram separadas e ensaiadas individualmente.

A fração de amostra foi seca em estufa, até que atingisse massa constante, e resfriada durante (60 ± 5) min, na sala de temperatura e umidade controlada. Em seguida, pesou-se cada fração da amostra com exatidão de 0,1%, registrando-se as massas iniciais em gramas.

Os ensaios foram feitos em ciclos com um total de 6 repetições, nas etapas seguintes:
a) imersão da amostra em etilenoglicol, de forma que as partículas fossem cobertas pelo

reagente, a 1 cm acima do seu topo; feito o exame quantitativo ao final do período de imersão; iniciou o ciclo seguinte; a duração do ensaio foi de seis ciclos.

Concluindo a ciclagem, amostras foram secas em estufa e resfriadas durante (60 ± 5) min, na sala de temperatura e umidade controlada. Finalmente, calculou-se a perda de massa por fração e a perda ponderada da amostra.

3.9 ENSAIO DE DURABILIDADE - DNER ME 089/94

Este ensaio permite determinar a desintegração dos agregados sujeitos a ação do tempo, pelo ataque de soluções saturadas de sulfato de sódio ou de magnésio.

Foram utilizados no ensaio peneiras de 63,5mm, 50mm, 38mm, 32mm, 25mm, 19mm, 16mm, 12,7mm, 9,5mm, 8mm, 4,8mm, 4mm, 2,4mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm e 0,15mm, inclusive tampa e fundo, balança com capacidade de 5kg, balança com capacidade de 1kg, cestos cilíndricos de tela metálica, dispositivo capaz de manter a temperatura a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e estufa capaz de manter a temperatura entre $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ e uma razão de evaporação média de, no mínimo, 25g hora, durante 4 horas.

As soluções de sulfato de sódio e de sulfato de magnésio foram preparadas dissolvendo-se uma quantidade do sal suficiente para, a uma temperatura entre 25°C e 30°C , assegurar, não só a saturação, mas também a presença de excesso de cristais nas soluções, após a preparação. Durante a adição do sal as soluções foram vigorosamente agitadas, esta operação repetida a intervalos frequentes, até sua utilização. Depois de prontas, as soluções foram esfriadas à temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e mantidas nesta temperatura por, no mínimo, 48 horas antes da realização do ensaio.

Antes da separação da amostra em frações, foi feita uma análise granulométrica representativa do agregado; em seguida, o material passante na peneira 9,5mm foi dividido em amostras de 110g cada uma e separado nas peneiras seguintes (4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3mm).

O material que ficou retida na peneira de 4,8mm foi fracionado da seguinte forma: 63,5mm a 38mm (3000g), 38mm a 19mm (1500g), 19mm a 9,5mm (1000g) e 9,5mm a 4,8mm (300g). Para os tamanhos maiores do que 63,5mm, tomamos frações de 3000g para

cada aumento de 25mm. A amostra e agregado passando na peneira de 9,5mm foi lavada em peneira de 0,3mm, secada até constância de peso a 105°C - 110°C e separada nas diferentes frações, por meio da série de peneiras citadas anteriormente. Das frações obtidas foi selecionada quantidade suficiente para obter mais de 100g (em geral 110g). A amostra de material retido na peneira de 4,8mm foi lavada e secada até constância de peso a 105°C - 110°C e separada por peneiramento nas diferentes frações indicadas anteriormente. Finalmente determinou-se o peso de cada uma das frações que foram colocadas em recipientes separados para o ensaio.

A amostra foi imersa na solução de sulfato de sódio ou de magnésio por um período de 16 a 18 horas, de modo que o nível de solução ficou 1cm acima da amostra. Após o período de imersão a amostra foi retirada da solução, drenada durante 15 ± 5 min e colocada em estufa para secar a 105°C - 110°C até constância de peso. Depois da secagem a amostra foi esfriada até a temperatura ambiente. O processo de imersão e secagem foi repetido alternadamente, até que o número desejado de ciclos foi completado. Finalmente as frações maiores que 19mm foram examinadas qualitativamente após cada imersão.

3.10 ENSAIO LOS ÁNGELES - ABNT NBR NM 51

O ensaio foi realizado para a determinação do desgaste por abrasão, através da máquina de “Los Ángeles”. Este ensaio é muito utilizado, pois possibilita determinar a melhor granulometria a minimizar o processo de abrasão do material.

Os principais equipamentos e utensílios utilizados no ensaio foram: a máquina “Los Ángeles”, tambor de aço, levantador, carga abrasiva (esferas de fundição de ferro ou aço), balança com resolução de 0,5g, estufa, jogo de peneiras (75mm, 63mm, 50mm, 37,5mm, 25mm, 19mm, 12,5mm, 9,5mm, 6,3mm, 4,75mm, 2,36mm e 1,70mm), bandeja metálica, colher retangular e escova de fibra.

Utilizando o jogo de peneiras com as aberturas de malha designadas anteriormente, foram separadas diferentes frações de agregados, de acordo com a tabela em anexo A. Em seguida, cada fração foi lavada e seca em estufa (a $107,5 \pm 2,5$ °C), até obter, em duas passagens sucessivas, massa constante ($\pm 0,5$ g). Por fim, comparou-se o material definido na

tabela em anexo na norma com o que mais se aproximou do agregado em estudo, pesando quantidades correspondentes das frações obtidas da secagem, de forma a completar a massa total da amostra, nas proporções estabelecidas na tabela em anexo na norma.

A amostra obtida da mistura foi seca em estufa e, posteriormente, depositada com a carga abrasiva dentro do tambor. O tambor foi girado a uma velocidade compreendida entre 30 rpm e 33 rpm, até completar 500 rotações para graduações A, B, C e D, de acordo com a tabela em anexo na norma - carga abrasiva. É importante ressaltar que o tambor foi limpo antes que se depositasse a amostra, para não prejudicar o ensaio.

Os cálculos da percentagem de perda por abrasão foram feitos utilizando a fórmula:

$$P = \frac{m \cdot m_1}{m} \times 100 \quad (31)$$

Onde P é a perda por abrasão, em percentagem; m é a massa da amostra seca, determinada antes de ser depositada no tambor e m_1 é a massa (g) de material retida na peneira com abertura de 1,7mm.

3.11 ENSAIO DE EQUIVALENTE DE AREIA - DNER ME 054/97

Equivalente de Areia é a relação volumétrica que corresponde à razão entre a altura do nível superior da areia e a altura do nível superior da suspensão argilosa de uma determinada quantidade de solo ou de agregado miúdo. O ensaio é realizado para determinar a quantidade de argila no agregado miúdo.

Os principais equipamentos e utensílios utilizados no ensaio foram: peneiras de 4,8mm de malhas quadradas, proveta cilíndrica e transparente, tubo lavador de cobre ou latão, garrafão com capacidade de 5 litros, tubo de borracha de 5mm de diâmetro interno com uma pinça de Mohr para interromper o escoamento, pistão metálico, um recipiente de medida e funil.

A amostra que vai ser ensaiada corresponde ao material passante na peneira de 4,8mm.

Foram utilizados os seguintes reagentes: cloreto de cálcio anidro, glicerina, solução de formaldeído a 40% em volume, papel filtro Whatman nº12. Foram preparadas as seguintes soluções:

- a) solução concentrada - 557g de cloreto de cálcio dissolvido em 2l de água destilada. A solução foi agitada energeticamente, esfriada e filtrada através do papel-filtro. Por fim, adicionou-se 2510g de glicerina a 57,5g de solução de formaldeído; após agitação foi completado o volume de 5l de solução de água destilada à solução concentrada de água destilada;
- b) solução de trabalho - 125ml da solução concentrada e diluindo com água destilada até completar o volume de 5l.

Primeiramente abriu-se a pinça do tubo de ligação. Acionamos o sifão, soprando-se no topo do garrafão que contem a solução, através de um pequeno tubo, em seguida verifica-se o escoamento da solução, fechando-se a pinça. Posteriormente, a solução de trabalho é sifonada para a proveta até atingir o traço de referência a 10 cm da base. Com o auxílio do funil, transferiu-se para a proveta o conteúdo do recipiente de medida -110g, cheio de amostra preparada e rasada na superfície. Bateu-se o fundo da proveta firmemente com a palma da mão, várias vezes, a fim de deslocar as bolhas de ar e ajudar a molhar a amostra, deixando-se a proveta em repouso durante 10min. Após esse período, tapou-se a proveta com a rolha de borracha e agitou-se vagarosamente, num movimento alternado, horizontalmente. Executou-se 90 ciclos (movimento completo de vai-vem) em aproximadamente 30s, com deslocamento de cerca de 20cm. Retirou-se a rolha e introduziu-se o tubo lavador, lavando-se as paredes rapidamente. Imediatamente foi inserido o tubo, até o fundo da proveta. A camada de areia foi agitada para levantar o material argiloso eventualmente existente, girando-se levemente a proveta. O líquido atingiu o círculo de referência superior da proveta (38cm da base). Suspendeu-se o tubo lavador lentamente, sem parar o escoamento e de tal modo que aquele nível se mantivesse aproximadamente constante. O escoamento foi regulado pouco antes de se retirar completamente o tubo e ajustar o nível naquele traço de referência, repousando 20min. Após esse período, foi determinado o nível de suspensão argilosa, efetuando a leitura com precisão de 2mm. O pistão foi introduzido sequencialmente na proveta, até assentar completamente na areia. A haste foi girada ligeiramente, até que um dos parafusos de ajustagem tornou-se visível. Nesta posição, o disco foi deslocado até que assentasse na boca da proveta e foi fixando a haste por meio de um parafuso nele existente. O nível do centro de

um dos parafusos de ajustagem foi determinado em sequência e adotado como leitura correspondente ao nível superior da areia.

O equivalente de areia foi calculado da seguinte forma:

$$EA = \frac{\text{Leitura no topo da areia}}{\text{leitura no topo da argila}} \times 100 \text{ ou } EA = \frac{d_2 - k}{380 - d_1} \times 100 \quad (32)$$

Sendo:

d_1 = distância do traço de referência superior da proveta ao nível da suspensão argilosa;

d_2 = distancia do topo do disco que se apoia na boca da proveta à base inferior do cilindro do pistão, quando a sapata estiver apoiada na areia;

k = constante do aparelho (caso particular da distancia d_2) quando a sapata do pistão estiver assente no fundo da proveta.

3.12 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES – ABNT NBR 5564

O ensaio de compressão simples tem a finalidade de determinar a resistência do material a esforços mecânicos externos.

As aparelhagens utilizadas foram prensa, equipamento para serragem de rocha, paquímetro, estufa e um torno mecânico.

Utilizaram-se cinco corpos de prova com dimensões predefinidas pela norma regulamentadora. Foram submergidos os corpos de prova em água limpa por 48h, após esse período retira-se o corpo de prova e aplica uma força externa com taxa de 0,7 mPa/s até que ocorra ruptura do corpo de prova.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Foi dispensado às areias o procedimento granulométrico de solo granular não coesivo. Sendo assim, foram tratadas de acordo com a metodologia prescrita pela ABNT NBR 7181/82.

Conforme já foi especificado, a areia britada é proveniente da correia transportadora da pilha que acumula material passando no britador VSI e da correia transportadora da pilha que acumula o material que passa no britador cônico, sem nenhum beneficiamento após britagem. A areia natural vem do transporte do material das jazidas da Mineração Otomar.

4.1 GRANULOMETRIA

Os resultados mostrados na Tabela 12 foram utilizados para construir a Figura 32, que corresponde aos gráficos da distribuição granulométrica: da areia que passa no britador VSI, com 8% de material passante na peneira de 0,075mm de abertura; da distribuição granulométrica da areia que passa no britador cone, com 15% de material passante na peneira de 0,075mm de abertura; da distribuição granulométrica da areia natural, com 1% de material passante na peneira de 0,075mm de abertura.

Tabela 12 - Distribuição granulométrica

ASTM	ABNT NBR 7181	AREIA DO CONE	NATURAL	AREIA DO VSI
3''	76,20	100%	100%	100%
2''	50,80	100%	100%	100%
1,5''	38,10	100%	100%	100%
1''	25,4	100%	100%	100%
¾''	19,1	100%	100%	100%
½''	12,7	100%	100%	100%
3/8''	9,53	100%	100%	100%
#4	4,75	95%	100%	88%
# 10	1,18	69%	100%	53%
# 20	0,84	50%	93%	33%
# 40	0,42	40%	61%	25%
# 60	0,25	31%	21%	19%
# 100	0,15	24%	5%	14%
# 200	0,075	15%	1%	8%

Observando a curva da areia natural (Figura 32), abaixo de 21%, correspondente às peneiras com abertura entre 0,25mm e 0,075mm, ela é contínua e bem graduada, representando uma distribuição selecionada dos grãos. Entre 21% e 93%, que representa o intervalo de peneiras com abertura entre 0,25 mm e 0,84mm, ela é considerada uniforme, significando grãos aproximadamente do mesmo tamanho. Acima de 93%, o que representa as peneiras acima de 0,84mm, ela volta a ser bem graduada.

Na curva da areia produzida pelo britador VSI, até 33% corresponde ao intervalo de peneiras entre 0,075mm e 0,84mm, a curva granulométrica demonstra ser um material bem graduado. Entre 33% e 88% ela é uniforme, representando o intervalo entre as peneiras com abertura entre 0,84mm e 4,8mm; nessa faixa ela é praticamente paralela à curva da areia natural. Acima de 88%, que representa o intervalo de peneiras com abertura entre 4,8mm e 76,2mm, ela volta a ser bem graduada.

A curva da areia produzida pelo britador cone é considerada contínua na fração granulométrica entre 15% e 69%, correspondente à abertura das peneiras de 0,075mm e 2,00mm, por possuir grãos com diâmetros variados em uma escala contínua, produzindo uma curva com menor inclinação em relação à horizontal do que as outras. A maior inclinação com a horizontal é observada na curva granulométrica da areia natural, pois representa a distribuição granulométrica de um material mais uniforme do que os outros.

A areia produzida pelo britador VSI possui 8% de finos minerais passando na peneira com abertura de 0,075mm. Segundo o que prescreve o Manual de Critérios de Projeto da Eletrobrás (2003), o máximo permitido de material passante na peneira de 0,075mm em projetos de filtros e transições de barragem de terra é de 5%. A solução para reduzir ou eliminar os microfins (material passando na peneira de abertura de 0,075 mm) seria através dos procedimentos comumente utilizados pelas grandes instalações de britagem. Existem atualmente dois processos em uso: por via úmida ou por via seca. O mais usado é o processo por via úmida ou processo de lavagem.

Comparando as curvas das areias, natural e britada do VSI, no intervalo de 53% a 100%, podemos dizer que a areia natural apresenta grãos com dimensões menores e mais uniformes, devido à curva estar à esquerda e mais inclinada em relação à curva da areia britada do VSI. Nesse intervalo de 53% a 100%, correspondendo respectivamente, às aberturas das peneiras 2,00mm a 9,53mm as curvas da areia natural e da areia produzida pelo

britador VSI são aproximadamente paralelas. Se o paralelismo das curvas se estendesse em todo intervalo de peneiras (0,075 a 9,53 mm), isto significaria que, se a areia natural fosse usada como filtro de barragem, poderia ser substituída pela areia britada do VSI. Contudo, isto não ocorre, pois na percentagem de 19%, que corresponde a um diâmetro de partículas de aproximadamente 0,25mm, as curvas da areia natural e do VSI se interceptam, demonstrando uma diferença na distribuição granulométrica ocasionada pelo aumento da quantidade de finos da areia britada do VSI em relação à areia natural. Observa-se também que existe uma interseção entre as curvas da areia natural e do cone. Isto faz ser válido afirmar que em filtros de obras de terra é impossível a substituição integral da areia natural por cada uma das areias britadas, uma vez que, segundo os critérios de projeto da Eletrobrás (2003), para que isto seja possível é necessário o paralelismo entre as curvas granulométricas dos respectivos materiais.

As três areias foram submetidas a uma lavagem na peneira de 0,075mm, a fim de eliminar ou reduzir o material de diâmetro inferior 0,075mm. Este procedimento é recomendado pela ABNT NBR 13292. Após a lavagem, as três areias foram submetidas ao ensaio ABNT NBR 7181/82 e obtidas as granulometrias indicadas na Tabela 13.

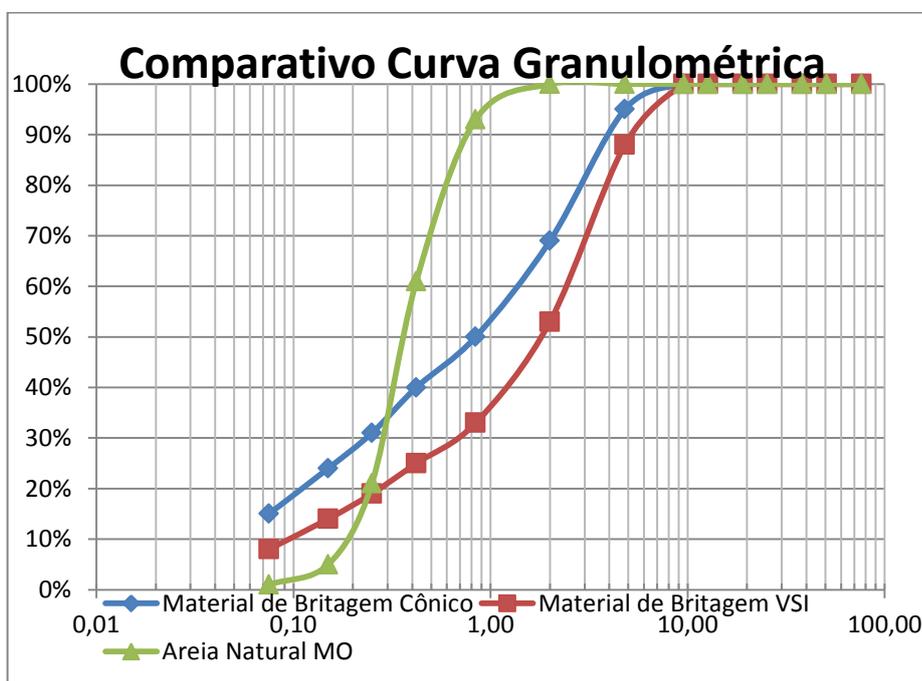


Figura 32 - Curvas de distribuição Granulométrica das frações areia, antes da lavagem.

Constam na Tabela 13 os resultados utilizados para construir a Figura 33, representa as curvas granulométricas das três areias após a lavagem.

Tabela 13 - Distribuição granulométrica após lavagem

ASTM	ABNT	AREIA DO CONI	NATURAL	AREIA DO VSI
3''	76,2	100%	100%	100%
2''	50,8	100%	100%	100%
1,5''	38,1	100%	100%	100%
1''	25,4	100%	100%	100%
¾''	19,1	100%	100%	100%
½''	12,7	100%	100%	100%
3/8''	9,53	100%	100%	100%
#4	4,75	95,30%	99,87%	98,28%
# 10	1,18	56,60%	97,85%	56,93%
# 20	0,84	30,20%	95,18%	31,10%
# 40	0,42	14,00%	76,06%	17,69%
# 60	0,25	7,80%	29,88%	11,26%
# 100	0,15	4,40%	9,66%	6,37%
# 200	0,075	1,70%	1,88%	3,29%

FONTE: HOLANDA ENGENHARIA (2010)

Pode-se visualizar na Figura 33 que curva da areia natural sofreu pequena alteração e continuou sendo interceptada pela curva da areia do VSI, no ponto de abscissa 0,10 mm e de ordenada 5,00%. As curvas granulométricas das areias britadas sofreram alterações consideráveis. Uma das alterações previsíveis e relevantes foi a redução do material passante na peneira de abertura de 0,075mm. Para a curva da areia do VSI, o material passante na peneira de abertura de 0,075 mm foi reduzido de 8% para 3,29%. Para a curva da areia do cone, a redução foi de 15% para 1,7%. No intervalo entre 30% e 90% observa-se uma quase coincidência entre as curvas das areias artificiais e ainda que estas mostram-se aproximadamente paralelas a curva da areia natural. A constatação do paralelismo possibilita interpretar que os materiais se comportam de forma semelhante em relação a granulometria, levando-se em conta o intervalo das peneiras observada no resultado da análise granulométrica. Isto não significa que os materiais não podem ser substituídos sem levar em conta os aspectos tecnológicos.

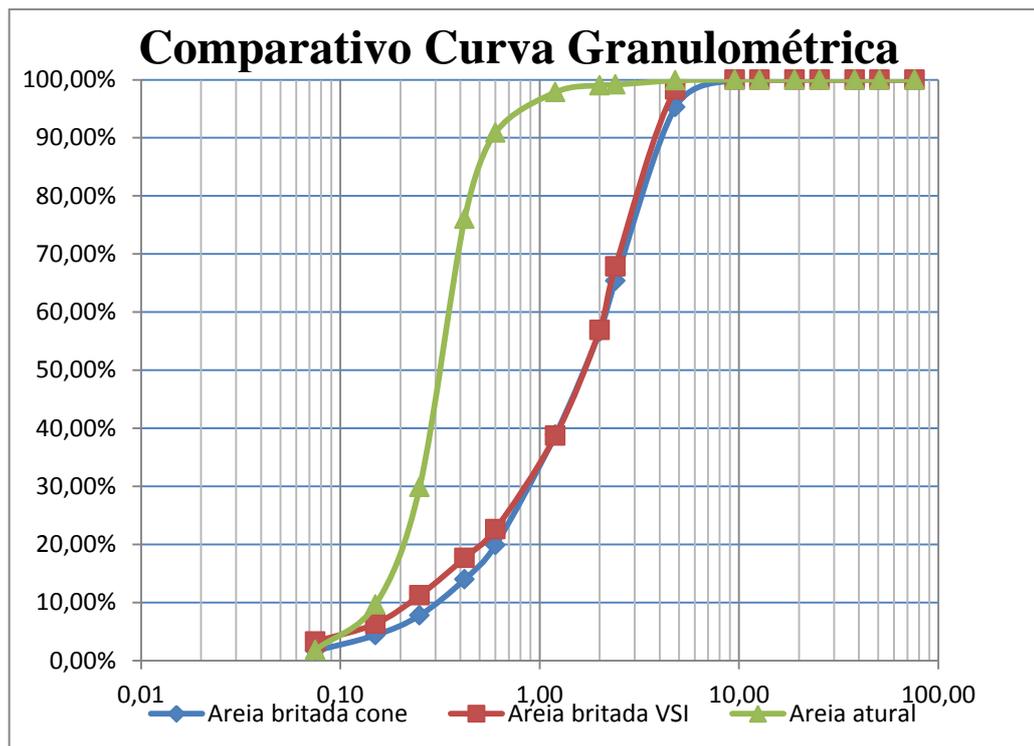


Figura 33 - Curvas de distribuição Granulométrica das frações areia, após a lavagem.
 FONTE: HOLANDA ENGENHARIA (2010)

A partir das distribuições granulométricas da areia natural e das areias artificiais, com posterior lavagem dos materiais (Figura 33), obtivemos os coeficientes de curvatura (C_c) e de uniformidade (C_u) a partir dos valores de D_{10} (diâmetro efetivo), D_{30} (diâmetro passante em 30%) e D_{60} (diâmetro passante em 60%), o que nos fornece subsídios para avaliar se o material é bem ou mal graduado e o seu grau de uniformidade (vide Tabela 13).

Para a curva da areia natural, encontramos um valor de C_u igual a 2,25 e de C_c igual a 1,09, o que nos possibilita afirmar que se trata de um material com boa uniformidade pois $C_u < 5$, e que se distribui em uma pequena faixa de granulometria, pois $1 < C_c < 3$. Podemos dizer que esse material apresenta partículas com tamanho aproximadamente igual, de forma a gerar espaços vazios entre os grãos. Isto ocorre devido ao processo de formação desse material que, sendo proveniente de duna, sofre ação principalmente do intemperismo físico por agente eólico, sendo compatível com estudos da CPRM (2008).

A areia britada produzida pelo britador VSI apresenta valores de C_u e C_c iguais a 9,13 e 1,50 respectivamente, o que nos possibilita afirmar que se trata de um material medianamente uniforme, pois $5 < C_u < 15$, e bem graduado, pois $1 < C_c < 3$. Isso ocorre devido às características da rocha e regulagem do britador. O equipamento nos permite modificar a

abertura da alimentação, possibilitando a variação do tamanho das partículas. Além disso, ele reduz o material por atrito e impacto ou seja, se o material variar as características de dureza e abrasão, a graduação do produto também irá variar.

O material produzido pelo britador cone tem Cu e Cc igual a 7,17 e 1,29 respectivamente, possibilitando classificar como mediantemente uniforme e bem graduado. O equipamento tem como princípio de redução apenas o impacto, sendo seu produto mais graduado que o do britador VSI. Apesar de também ser possível a regulagem de sua abertura, a cominuição da rocha se dá em um único sentido, nesse caso o atrito ocorre entre partículas.

Outro parâmetro importante na Tabela 14 é o módulo de finura, que nos possibilita classificar as areias em muito grossa, grossa, média ou fina, de acordo com Petrucio (1981). A areia natural apresenta um valor de 1,62 para o módulo de finura, correspondente a uma areia fina. Este resultado está de acordo com os estudos feitos pela CPRM (2008) em relação às areias situadas nas regiões metropolitanas de Salvador. A areia britada produzida pelo britador VSI, apresenta um valor de 3,45, sendo considerada uma areia grossa (Petrucio, 1981). O módulo de finura da areia produzida pelo britador cone é 3,32, sendo também considerada uma areia grossa.

Tabela 14 - Parâmetros Granulométricos das curvas das areias

Areia	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Cu	Cc	MODULO	DIAMETRO
						DE FINURA	MAXIMO (mm)
Natural	0,16	0,25	0,36	2,25	1,09	1,62	1,2
VSI	0,23	0,85	2,10	9,13	1,50	3,11	4,8
Cone	0,30	0,90	2,15	7,17	1,26	3,68	4,8

FONTE: HOLANDA ENGENHAIA (2010)

Diante do comportamento observado para as curvas granulométricas das areias do cone e do VSI passamos a trabalhar apenas com os resultados da areia do VSI, denominada areia britada. Os resultados dos demais ensaios justificaram esta opção. Seguindo a ordenação dos dados constantes da Tabela 14 os resultados dos ensaios serão analisados e discutidos.

Tabela 15 - Ensaio tecnológicos das areias natural e do VSI
 RESULTADOS DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS DA AREIA

	AREIA NATURAL	AREIA BRITADA
DURABILIDADE MEDIANTE ALTERAÇÃO PELO SULFATO DE SÓDIO	3,610	2,034
DURABILIDADE MEDIANTE ALTERAÇÃO PELO SULFATO DE MAGNÉSIO	4,09	4,90
MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS PASSANTE NA 4,8 mm	2,65 a 2,67	2,56 a 2,70
COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s)	$1,47 \times 10^{-2}$	$3,48 \times 10^{-1}$
COMPACIDADE RELATIVA (%)	82,000	70,000
EQUIVALENCIA DE AREIA	93	92
MATERIAIS PULVERULENTOS (%)	2,8	7,1
ÍNDICE DE VAZIOS MÁXIMOS	0,655	0,597
ÍNDICE DE VAZIOS MÍNIMOS	0,464	0,234

FONTE: HOLANDA ENGENHARIA (2010)

4.2 DURABILIDADE MEDIANTE ALTERAÇÃO PELO SULFATO DE SÓDIO E MAGNÉSIO

A sanidade dos grãos de minerais frente à ação do intemperismo é determinada pelo Método ASTM C88, que descreve um procedimento padronizado para determinação direta da resistência do agregado à desintegração, pela exposição a cinco ciclos de umedecimento e secagem; para o ciclo de umedecimento é usada solução saturada de sulfato de sódio ou magnésio.

Os ensaios de sanidade executados nas areias natural e artificial (britador VSI), pelo emprego da solução de sulfato de sódio, forneceram as respectivas perdas expressas em percentagem constante da Tabela 15. A diferença entre os valores obtidos (3,610 e 2,034) é 1,576%, considerada baixa em relação ao limite superior estabelecido pelo ASTM. Pode-se considerar que as areias possuem o mesmo comportamento mediante o ataque por sulfato de sódio. Uma vez que a areia natural é composta basicamente por quartzo e a areia britada apresenta quartzo e feldspato na composição mineralógica, isto se justifica em função da variação dos teores de quartzo.

É importante lembrar que a norma ASTM C33/03 limita as perdas em 12% no material utilizado para concreto. Este limite foi adotado porque na literatura não foram definidos parâmetros para a utilização em filtros de barragem, observando que as perdas detectadas estão dentro do limite aceitável.

O ensaio de sanidade com sulfato de magnésio forneceu perdas de 4,09% para areia natural e 4,90% para areia do VSI (Tabela 15). Apesar da pequena diferença de perda das duas areias (0,810%), houve maior perda na areia britada pelo VSI, devido à maior variação na composição mineralógica (ver Tabela 20). Foi considerado o mesmo limite de perda utilizado para o concreto e os valores encontrados estão dentro do limite aceitável. Concluímos que a substituição da areia britada pela areia natural é possível se este ensaio for adotado como controle.

4.3 MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS PASSANTES NA PENEIRA 4,8 mm

Os valores de massa específica real dos grãos em (g/cm^3), encontrados para a areia britada pelo VSI variam de 2,56 a 2,70 enquanto para a areia natural é aceito o intervalo entre 2,65 e 2,67 (Tabela 15). As areias brancas estudadas pelo CPRM possuem de 96% a 98% de quartzo na sua composição e a massa específica está entre os valores da areia natural.

A areia artificial é proveniente da britagem de uma rocha cuja composição mineralógica mostra uma predominância de quartzo, seguido de feldspato e biotita. Conforme os dados da Tabela 15, observamos que há pouca variação nos intervalos de peso específico dos elementos que compõem a areia britada, dessa forma conclui-se que o resultado do ensaio para ambas as areias é compatível. No entanto, em escala industrial recomenda-se um controle eficiente do peso das amostras que serão utilizadas nos ensaios de massa específica; deve-se ainda levar em conta a remoção de material pesado quando a amostra é submetida a passagem do jato d'água no processo de lavagem.

Tabela 16 - Peso específico real dos grãos de minerais

Mineral	γ_s (g/m^3)	Mineral	γ_s (g/m^3)	Mineral	γ_s (g/m^3)
Quartzo	2,65 - 2,67	Piroxenio	3,00 - 3,60	Biotita	2,80 - 3,20
Feldspato K	2,54 - 2,57	Caulinita	2,61 - 2,66	Anfibolio	2,95 - 3,80
Feldspato N_aC_a	2,62 - 2,76	Ilita	2,60 - 2,80	Clorita	2,60 - 2,90
Muscovita	2,70 - 3,10	Montmorilonita	2,74 - 2,80	Hematita	4,00 - 5,30

Fonte: PROF. ENG RINALDO PINHEIRO (2010)

4.4 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Já foi visto que a areia natural da mineração Otomar, pela sua granulometria, valor do diâmetro máximo e módulo de finura, é classificada como areia fina. Na literatura sobre permeabilidade, as areias finas têm coeficiente de permeabilidade da ordem de $k \times 10^{-2}$ cm/seg, então o coeficiente de permeabilidade obtido para a areia natural, sendo igual a $1,47 \times 10^{-2}$ cm/seg (Tabela 15) é um valor aceitável.

A areia do VSI, classificada como areia grossa mediante análise do módulo de finura, tem um coeficiente de permeabilidade igual a $3,48 \times 10^{-1}$ cm/seg (Tabela 15), compatível com a sua granulometria e seu diâmetro máximo. A forma dos grãos também influencia o valor da permeabilidade, pois ela determinará os espaços vazios entre eles. Portanto, a areia obtida do britador VSI, pelo diâmetro dos grãos, é classificada como grossa, possuindo permeabilidade entre 10^{-1} e 10^{-3} (ver Figura 15).

4.5 COMPACIDADE RELATIVA

O resultado do ensaio de compactação relativa para a areia natural, feitos em corpos de prova preparados de acordo com a norma ABNT, foi de 82% e para a areia artificial foi de 70%. Admitindo a classificação de Caputo (1957), que determina o limite do grau de compactação entre 66% e 100%, podemos dizer que os materiais em estudo se comportam como areias compactas. Portanto, o material apresenta boa compactação e baixo índice de vazios, conseqüentemente baixa permeabilidade, que não é desejável. Se tomarmos como exemplo as barragens de Apertado, São José do Jacuípe e Bandeira de Melo, localizadas no estado da Bahia, vemos que as mesmas consideraram o grau de compactação no intervalo de 60% a 70% para filtros com areia natural e obtiveram boa eficiência drenante e filtrante. Portanto, o valor encontrado em laboratório para a areia produzida pelo britador VSI terá que ser ajustado em campo através de um processo experimental de compactação, para obter eficiência equivalente às barragens citadas.

4.6 EQUIVALENTE DE AREIA

Os resultados obtidos após os ensaios para a areia natural e a areia britada são, respectivamente, de 93% e 92%. Sabendo que não foi encontrado na literatura nenhum limite de equivalente de areia que condicione sua utilização em filtros de barragem, referenciamos o limite adotado na pavimentação rodoviária, acima de 40%, segundo DNER ME54/97, o que nos possibilita dizer que o valor encontrado está bastante adequado.

No caso em estudo, como ensaio foi feito com as areias após a lavagem ficamos com as seguintes situações:

- a) areia natural lavada, material passante na peneira de 75 μ m e 1,88% de finos;
- b) areia britada lavada (VSI), material passante na peneira de 75 μ m e 3,29% de finos.

Do exposto, concluímos que os resultados de equivalente de areia tem valores elevados, em relação a areia da natural, entretanto estando dentro dos valores aceitáveis, após a lavagem.

4.7 MATERIAIS PULVERULENTOS

No caso de filtros de obras de terra o teor máximo admitido para materiais pulverulentos é de 5%. O valor encontrado para areia natural foi de 2,8%, que está dentro do limite aceitável. Isso significa que ela possui pouco material passante na peneira com abertura 0,075mm. Esse fato é justificado, pois no processo de transporte e deposição da areia natural, os finos se aglomeram pela atividade superficial das partículas, não sendo carregados pela ação do vento.

Na tabela abaixo, estão os resultados do material passante na peneira com abertura de 0,075mm, para ambas as areias.

Tabela 17 - Material Pulverulento

Areia	Material Pulverulento	Material retido na peneira 0,075mm após lavagem
Natural	2,8	1,88
Britada	7,1	3,29

Fonte: HOLANDA ENGENHARIA (2010)

Analisando-se a areia britada pelo VSI, antes da lavagem observou-se que a mesma tinha 8% de material passante na peneira com abertura de 0,075mm; após a lavagem, este valor foi de 3,29% e a quantidade de material pulverulento foi de 7,10%; então, tem-se $7,10+3,29 = 10,39\% > 8\%$. Isso pode ter ocorrido devido à aderência dos finos na superfície dos grãos maiores, devido à elevada umidade na área da pedreira e a ineficiência do processo a seco para eliminação total do material passante na peneira com abertura de 0,075mm. Observa-se que a areia natural, que antes da lavagem tinha 1% de material passando na peneira com abertura de 0,075mm, após a lavagem ainda restou 1,88% passando na peneira com abertura de 0,075mm e a quantidade de material pulverulento foi de 2,8%; então, tem-se $2,80+1,88 = 4,68\% > 1\%$. Isso pode ser reflexo da aderência das partículas finas, formando grumos, impedindo a passagem na peneira a seco. Após lavagem os grumos podem ter se desfeitos, aumentando a quantidade de finos passante na peneira com abertura de 0,075mm.

4.8 ÍNDICES DE VAZIOS MÁXIMO E MÍNIMO

Observando os resultados obtidos (Tabela 15) temos que, para a areia natural, foi encontrado o índice de vazios máximo de 0,655 e índice de vazios mínimo de 0,464. Na Tabela 5, esta areia foi classificada como uniforme, de grãos arredondados, concordando com, a análise da petrografia. Para a areia britada foi encontrado o índice de vazios máximo de 0,597 e índice de vazios mínimo de 0,234. A partir dos resultados da Tabela 5, não foi possível classifica-la, porém, os resultados da petrografia mostraram a predominância de grãos angulosos com baixa esfericidade. Para a utilização desse material em filtros de barragem, apesar de menores vazios, ainda apresenta caracterização favorável, pois possibilitará uma permeabilidade satisfatória.

4.9 ENSAIO DE METEORIZAÇÃO DE ROCHA

Foram feitos ensaios de meteorização de rocha para ter uma noção do estado de alteração. O estudo analisa a diminuição de resistência, com ou sem produção de finos, a variação nas características mecânicas de deformação e de deformabilidade, a variação na porosidade e permeabilidade. Portanto, avalia a estanqueidade e diminuição das características de aderência ou adesividade, tanto a ligantes hidráulicos como betuminosos. Para o ensaio de ciclagem artificial água-estufa analisou-se a desintegração, fissuração, rachadura, lasqueamento e fragmentação ocorridos na rocha. A ciclagem acelerada com etileno glicol analisa a perda de massa em função da resistência ao ataque do etilenoglicol, que também se reflete em desintegração, fissuração, rachadura, lasqueamento e fragmentação.

4.9.1 Ciclagem artificial água-estufa

Este ensaio é feito em 120 ciclos e objetiva verificar a presença de minerais expansivos responsáveis por variações volumétricas quando submetidos a moldagem e secagem. As variações volumétricas podem levar o agregado e o concreto à desintegração.

Analisando os resultados da Tabela 18, obtidos a partir do primeiro ensaio realizado no dia 16/03/11 observamos que, no primeiro ciclo, não houve perda de massa e não houve reação. No segundo ciclo (20/03/11) houve uma perda de 0,3% e a amostra apresentou fissuração e fragmentação. No terceiro ciclo (24/03/11) a perda foi de 0,8%, ocorrendo fissuração, rachadura, lasqueamento e fragmentação. No quarto ciclo (28/03/11) a perda foi de 0,9% sofrendo lasqueamento e fragmentação. No quinto ciclo (01/04/11) houve uma perda de 0,9% sofrendo fragmentação. No sexto ciclo (05/04/11) a perda foi de 1,0% com lasqueamento e fragmentação. No sétimo ciclo (09/04/11) houve também uma perda de 1,0%, mas sofreu apenas fragmentação. No oitavo ciclo (21/04/11) houve uma perda de 1,8% e fragmentação.

No nono ciclo (03/05/11) houve uma perda de 3,7% com desintegração, lasqueamento e fragmentação. No décimo ciclo (15/05/11) a perda foi de 3,8% e apenas fragmentação. No décimo primeiro ciclo (27/05/11) a perda foi de 4,2% com fissuração e fragmentação. No

décimo segundo ciclo (08/06/11) a perda foi de 5,4% com lasqueamento e fragmentação. No décimo terceiro ciclo (20/06/11) a perda foi de 5,7% com fragmentação. No décimo quarto ciclo (02/07/11) a perda foi de 5,9% apresentando desintegração, rachadura e fragmentação. No decimo quinto e ultimo ciclo (14/07/11) a perda foi de 6,3% apresentando fissuração, lasqueamento e fragmentação.

O ensaio foi encerrado quando nenhuma partícula da amostra ficou retida na peneira com abertura de 19mm. É importante dizer que esses aspectos físicos não se apresentam em todas as partículas. Podemos perceber que, à medida que nos aproximamos do ciclo final, a perda aumenta ou considerando o que foi atentado anteriormente, o resultado nos leva a concluir que a rocha perdeu resistência com o passar de cada ciclo.

A perda final foi de 6,3%. O ataque apresentou fragmentação em quase todos os ciclos, portanto há evidências de material expansivo, ou seja, a presença dele faz com que a amostra, em meio aquoso se expanda e ao ser seca se contraia, promovendo um lasqueamento generalizado. O ensaio não nos permitiu calcular a quantidade desse material expansivo mas nos possibilitou inferir sua existência na rocha.

O segundo ensaio, realizado no período de 02/08/11 a 30/11/11, foi executado de maneira análoga ao primeiro. Obtivemos uma perda de 5,6% e o resultado mais frequente foi à fragmentação. Tanto qualitativamente quanto quantitativamente o resultado indica maior resistência do material aos ciclos de estufa e secagem. Contudo, o ensaio não definiu se a expansão esta relacionada, à presença de minerais expansivos do grupo das motmorilonitas ou ilitas, mas permite inferir que algum destes materiais, ou ambos, estejam presentes. Para se constatar a presença desses minerais será necessário realizar ensaios de difração de raio x no material do manto da pedreira.

Tabela 18 - Ciclagem artificial água-estufa

	CICLOS		EXAME QUANTITATIVO			EXAME QUALITATIVO								
	Nº	Data	Massa Inicial (g)	Massa por Ciclo (g)	Perda de Massa (%)	Inicial	Afetadas	Ausente	Desintegração	Fissuração	Rachadura	Lasqueamento	Fragmentação	Partículas Afetadas (%)
CICLAGEM AGUA-ESTUFA (14/07/2011)	0	16/03/11		5406,6	0,0	0,0	X	-	-	-	-	-	X	0,0
	4	20/03/11		5390,0	0,3	0,0	-	-	-	X	-	-	X	0,0
	8	24/03/11		5365,9	0,8	1,0	-	-	-	X	X	X	X	1,0
	12	28/03/11		5356,5	0,9	1,0	-	-	-	-	-	X	X	1,0
	16	01/04/11		5356,2	0,9	1,0	-	-	-	-	-	-	X	1,0
	20	05/04/11		5353,8	1,0	1,0	-	-	-	-	-	X	X	1,0
	24	09/04/11		5353,6	1,0	0,0	-	-	-	-	-	-	X	0,0
	36	21/04/11	5407	5310,5	1,8	100,0	0,0	-	-	-	-	-	X	0,0
	48	03/05/11		5203,9	3,7	3,0	-	-	X	-	-	X	X	3,0
	60	15/05/11		5200,4	3,8	1,0	-	-	-	-	-	-	X	1,0
	72	27/05/11		5179,1	4,2	0,0	-	-	-	X	-	-	X	0,0
	84	08/06/11		5117,3	5,4	3,0	-	-	-	-	-	X	X	3,0
	96	20/06/11		5098,2	5,7	0,0	-	-	-	-	-	-	X	0,0
108	02/07/11		5090,3	5,9	2,0	-	-	X	-	-	X	-	X	2,0
120	14/07/11		5065,0	6,3	1,0	-	-	-	X	-	-	X	X	1,0

Fonte: Holanda Engenharia (2010)

Tabela 198 - Ciclagem acelerada com água-estufa

	CICLOS	EXAME QUANTITATIVO				EXAME QUALITATIVO								
		Nº	Data (Tempos de Ciclos)	Massa Inicial (g)	Massa por Ciclo (g)	Perda de Massa (%)	Inicial	Afetadas	Ausente	Desintegração	Fissuração	Rachadura	Lasqueamento	Fragmentação
CICLAGEM AGUA-ESTUFA (30/11/2011)	0	02/08/11		982,8	0		0,0	X	-	-	-	-	-	0,0
	4	06/08/11		966,0	1,7		2,0	-	-	-	-	-	X	4,0
	8	10/08/11		965,5	1,8		0,0	-	-	-	-	-	X	0,0
	12	14/08/11		955,2	2,8		1,0	-	-	-	-	-	X	2,0
	16	18/08/11		955,0	2,8		0,0	-	-	-	-	-	X	0,0
	20	22/08/11		954,4	2,9		0,0	-	-	-	-	-	X	0,0
	24	26/08/11		954,3	2,9		0,0	-	-	-	-	-	X	0,0
	36	07/09/11	982,8	941,7	4,2	57	1,0	-	-	-	-	-	X	2,0
	48	19/09/11		941,5	4,2		1,0	-	-	-	-	-	X	2,0
	60	01/10/11		941,5	4,2		0,0	X	-	-	-	-	-	0,0
	72	13/10/11		940,7	4,3		1,0	-	-	X	-	-	X	2,0
	84	25/10/11		940,7	4,3		0,0	X	-	-	-	-	-	0,0
	96	06/11/11		940,7	4,3		0,0	X	-	-	-	-	-	0,0
	108	18/11/11		939,7	4,4		0,0	-	-	-	-	-	X	0,0
120	30/11/11		927,8	5,6		0,0	-	-	-	-	-	X	0,0	

Fonte: Holanda Engenharia (2010)

4.9.2 Ciclagem acelerada com etilenoglicol

O etilenoglicol é um dos produtos que reagem com as argilas expansivas do grupo das montmorilonitas para formar um complexo organoargiloso de maior volume. Dependendo da quantidade e distribuição de argila expansiva e da capacidade de absorver o etilenoglicol, pode ocorrer a desintegração expansiva da amostra.

Ocorrendo a desintegração do material submetido ao ensaio, é esperado que esta ocorra com a rocha, quando exposta por longo tempo à molhagem e secagem e ao congelamento e degelo, em uma condição de serviço em meio saturado.

O primeiro ensaio, realizado no período de 15/02/11 a 08/03/11 apresentou uma perda total de 6,3%. Os grãos passantes na peneira de abertura nominal de 38,1 mm sofreram o mesmo tipo de ataque com fragmentação em todos os ciclos. Os grãos passantes na peneira de abertura 25,4 mm, no primeiro ciclo não sofreram ataque. No segundo ciclo houve lasqueamento e fragmentação. No terceiro e quarto ciclos houve fragmentação. No quinto ciclo aconteceu desintegração e fragmentação. No sexto ciclo ocorreram fissuração e desintegração.

Os grãos passantes na peneira de abertura nominal de 19,1 mm, no primeiro ciclo sofreram ataque de fragmentação. No segundo ciclo, ataques de lasqueamento e fragmentação estiveram presentes. No terceiro ciclo houve ataque de fragmentação. No quarto ciclo estiveram presentes os ataques de desintegração, fissuração e fragmentação. No quinto ciclo ocorreram ataques de desintegração e fragmentação. No sexto ciclo houve ataque de fragmentação.

Podemos dizer, a partir dos resultados encontrados, que o material passante na peneira com abertura nominal de 38,1mm e retido em 25,4mm pode ter maior quantidade de argila expansiva que nas frações menores, devido à ocorrência de fragmentação em todos os ciclos nesta faixa, confirmando uma maior reação do etilenoglicol.

O segundo ensaio, realizado no período de 04/08/11 a 26/08/11, apresentou uma perda total de 0,9%. Os grãos passantes na peneira de abertura nominal de 50,8 mm sofreram o mesmo tipo de ataque, com fragmentação no segundo e terceiro ciclo. Nos demais ciclos os grãos ficaram inalterados. Os grãos passantes na peneira de abertura nominal de 25,4 mm

sofreram o mesmo tipo de reação, no primeiro, segundo, terceiro, quinto e sexto ataque de fragmentação. No quarto ciclo não houve ataque. Os grãos passantes na peneira de abertura nominal de 19,1 mm, no primeiro ciclo não foram modificados. Do primeiro ao sexto ciclo ocorreu fragmentação, demonstrando a presença de material expansivo. Isso é esperado, visto que a argila expansiva tem a capacidade de absorver o etilenoglicol, gerando aumento de volume e conseqüentemente a desintegração da amostra.

Tabela 19 - Ciclagem acelerada com etilenoglicol

	ABERTUR A NOMINAL DAS PENEIRAS (mm)	MASSA RETIDA INICIAL (m.) (g)	MASSA RETIDA FINAL (m) (g)	PERDA DE MASSA POR FRAÇÃO		PERDA DE MASSA PONDERADA POR FRAÇÃO O (%)		1°	2°	3°	4°	5°	6°
				(g)	(%)	FINAL (%)	CICLO (2 DIAS) 17/02/11	CICLO (4 DIAS) 20/02/11	CICLO (6 DIAS) 23/02/11	CICLO (9 DIAS) 27/02/11	CICLO (12 DIAS) 03/03/11	CICLO (15 DIAS) 07/03/11	
	19,1	531,20	500,40	30,8	5,8	1,0		6	5 ; 6	6	2 ; 3 ; 6	2 ; 6	6
CICLAGEM ACELERADA COM ETILENOGLICO L (08/03/2011)	25,4	2040,30	1883,00	157,3	7,7	4,9		-	-	6	6	2 ; 6	2 ; 3 ; 6
	38,1	610,10	597,90	12,2	2,0	0,4	6,3	6	6	6	6	6	6
	50,8	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0		-	-	-	-	-	-
	63,5	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0		-	-	-	-	-	-
	TOTAL	3181,60	2981,30										
	19,1	1725,8	1733,0	-7,2	-0,4	-0,2		1	6	6	6	6	6
CICLAGEM ACELERADA COM ETILENOGLICO L (26/08/2011)	25,4	910,8	874,9	35,9	3,9	1,2		6	6	6	1	6	6
	38,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	-	-	-	-	-	-
	50,8	417,6	417,3	0,3	0,1	0,0		1	6	6	1	1	1
	63,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		-	-	-	-	-	-
	TOTAL	3054,2	3025,2										

Fonte: Holanda Engenharia (2010)

Nota: 1- Ausente, 2- Desintegração, 3- Fissuração, 4- Rachadura, 5- Lasqueamento, 6- Fragmentação

4.9.3 Ensaio Los Angeles

Este ensaio de abrasão é comumente usado em pavimentação, e não para materiais de filtro de barragem. Os agregados devem apresentar habilidade para resistir a quebras, degradação e desintegração. As especificações brasileiras que envolvem o uso de agregados em camadas de base de pavimento, normalmente limitam o valor da abrasão Los Angeles (LA) em 40% segundo a NBR NM 51:2001. Esse limite será utilizado, pois não foi encontrado na literatura uma regulamentação para filtros de barragem.

O ensaio de abrasão executado com material produzido nas pedreiras parafuso tem o valor de 18,5%. Esse valor é excelente, pois demonstra uma grande resistência ao atrito, entre os grãos internamente e uma possível solicitação externa.

4.9.4 Ensaio de compressão simples da rocha

O valor encontrado no ensaio foi de 97,21 MPa, ou seja, 999,51 kg/cm². Relacionando com a tabela 8, classificamos esse material como resistente. Essa classificação é satisfatória, pois permite um manuseio do material sem perdas de massa e mudança da forma.

4.10 MINERALOGIA E PETROGRAFIA

As Pedreiras Parafuso exploram litologias que constituem o embasamento da Cidade do Salvador, formado por estas rochas cristalinas de grau de metamorfismo médio e alto, representados por termos granulíticos, anfíbolitos, diques de diabásio e veios de composição granítica, desde aplítica a pegmatítica. O substrato cristalino encontra-se coberto pelos sedimentos da formação barreiras, de natureza arenosa, siltosa, argilosa, conglomerática e silto-argilosa e de espessura bastante variável.

As amostras que foram coletadas como representantes das litologias que ocorrem na pedreira possuem as características modais mostradas na Tabela 20.

Tabela 200 - Composição modal média obtida por estimativa, para os litotipos estudados

Litotipos	Granulitos Ácidos	Granulitos básicos	Diques máficos	Corpos ultramáficos	Diques graníticos
Minerais					
Quartzo	41,40	5	3	0	38,93
K-Feldspato	23,47	8	0	0	52,73
Plagioclasio	11,47	30	57	2	1,33
OPX	6,40	12	0	10	0
CPX	12,67	18	25	72	0
Biotita	1,67	17	8	8	2
Anfibolio	0,53	7	5	5	0
Opacos	1,8	3	2	3	0,13
Titanita	0	1<	0	1<	0
Apatita	0,4	1<	0	1<	0

A observação dos litotipos ao microscópio permitiu identificar as características texturais e mineralógicas descritas a seguir.

Os granulitos constituem os litotipos predominantes. Possuem cor em tonalidade de cinza e cinza esverdeado, tem granulometria média e são formados principalmente por k-feldspato, plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio e quartzo.

Os corpos máficos ocorrem como diques de diabásio, com diopsídio cpx e plagioclásio predominantemente e os corpos ultramáficos foram identificados diopsídio, formados por cristais de diopsídio. Os diques graníticos tem composição quartzo-feldspática.

Os granulitos foram classificados como ácidos e básicos, levando em consideração a ocorrência modal de quartzo com o percentual em volume, respectivamente inferior e superior a 20%. São rochas com textura granoblástica de granulometria fina a média, com fraturamento interminerais e transminerais de intensidade fraca a mediana, formadas principalmente por cristais tabulares de quartzo, microclina e oligoclásio, além de quantidades subordinadas de biotita, hornblenda, hiperstênio e diopsídio. Quartzo e feldspatos mostram extinção ondulante e se relacionam por contatos curvos e retos, por vezes gerando textura poligonal.

Microclina geralmente com geminação albita-periclina, exhibe intercrescimento pertítico, o que facilita o seu reconhecimento nos cristais que não mostram esta geminação característica. Os cristais de oligoclásio, com teor de anortita em torno de 25%, exibem geminação albita e periclina, com alteração de intensidade fraca a mediana para sericita e minerais de argila, ocasionalmente mostrando intercrescimento antipertítico. O quartzo por

vezes está em contato de reação com os feldspatos, observando-se entre eles relação de substituição. O Hiperstênio e o diopsídio constituem aglomerados de cristais subédricos e anédricos, juntamente com a hornblenda e a biotita, por vezes estão relacionados por contatos retos, em arranjo granoblástico e alteram para minerais de argila, clorita e oxi-hidróxidos de ferro. Hiperstênio é incolor a levemente rosado e diopsídio é incolor a levemente esverdeado. A hornblenda tem pleocroísmo variando de castanho amarelado a verde e a verde escuro e a biotita varia de castanho claro a castanho escuro avermelhado. Biotita e hornblenda também aparecem em clivagens e bordos de grãos de diopsídio e hiperstênio, em processo de substituição retrometamórfica.

Na fase acessória os tamanhos dos cristais se situam, em média, na faixa de 0,03 mm a 0,22 mm, sendo esta fase constituída por mineral opaco subédrico e anédrico, apatita subédrica, titanita anédrica e subédrica e zircão subédrico e arredondado.



Figura 34 - Fotomicrografia do granulito básico. Notar os contatos curvos entre os grãos dos principais minerais formadores da rocha e o fraturamento.
Origem: Amostra coletada na Pedreira Parafuso.



Figura 35 - Fotomicrografia do granulito ácido. Notar os contatos curvos entre os grãos dos principais minerais formadores da rocha e pequena intensidade do fraturamento.
Origem: Amostra coletada na Pedreira Parafuso.

Alguns tipos exibem caráter aluminoso, mostrando porfiroblastos de granada vermelha destacados no conjunto de granulometria fina a média, constituído principalmente por mesopertita, quartzo, granada, diopsídio, cordierita, silimanita, plagioclásio e biotita

vermelha, com quantidades subordinadas de espinélio e mineral opaco. A transformação do diopsídio resulta na formação de biotita e hornblenda.

4.10.1 Diques máficos

São corpos tabulares de rochas de cor preta a esverdeada, que preenchem fraturas. A granulometria varia, observando-se bordas resfriadas nos contatos com a rocha encaixante e cristais faneríticos finos e médios em direção ao centro do corpo. São constituídos por labradorita, olivina e piroxênios dos tipos pigeonita e augita. Hornblenda, biotita e clorita ocorrem como fases de reequilíbrio, como resultado de substituição e alteração dos piroxênios e da olivina. Na fase acessória estão minerais opacos, titanita e apatita.

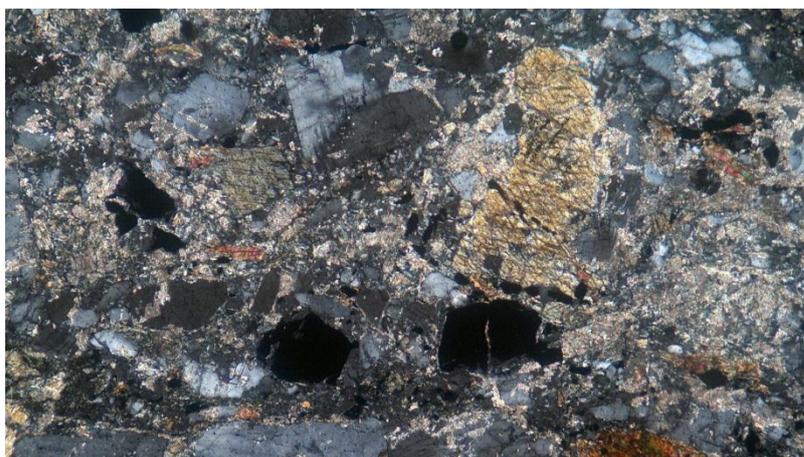


Figura 36 - Fotomicrografia do diabásico (dique máfico). Notar maior intensidade de alteração dos minerais máficos.

Origem: Amostra coletada na Pedreira Parafuso.

4.10.2 Corpos ultramáficos

São piroxenitos que ocorrem como encraves granulitizados, compostos por ortopiroxênio e clinopiroxênio e, em pequena proporção, labradorita, com uma fase acessória que compreende minerais opacos e titanita. Os piroxênios exibem feições retrometamórficas, com transformação para hornblenda, biotita, mineral opaco e oxi-hidróxidos de ferro.

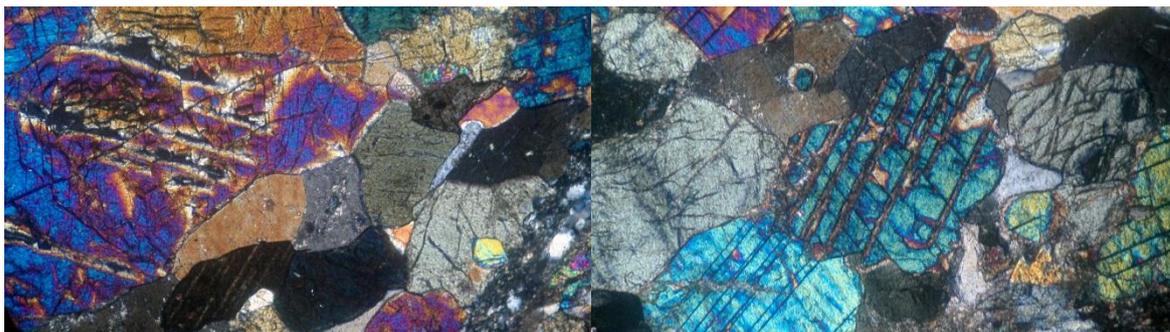


Figura 37 - Fotomicrografia representativa do piroxenito (corpo ultramáfico). Nota os contatos curvos e reentrantes entre os constituintes da rocha.
Origem: Amostra coletada na Pedreira Parafuso.

4.10.3 Diques graníticos

São corpos intrusivos félsicos de coloração rósea e granulometria média a grossa, leucocráticos, isotrópicos, com dimensões entre 0,4 a 3,0 metros de largura e de 1,0 a 31,0 metros de comprimento; se apresentam fraturados e intemperizados e estão colocados em duas direções preferenciais, nos quadrantes sudeste e sudoeste, com atitudes respectivamente de N115/75°NE e N080°/86°NW. Composicionalmente, os diques foram classificados como sienogranitos e monzogranitos, cujos minerais essenciais são: microclina, oligoclásio e quartzo, associados aos minerais varietais: biotita e muscovita, além de uma fase acessória com magnetita, apatita e zircão.

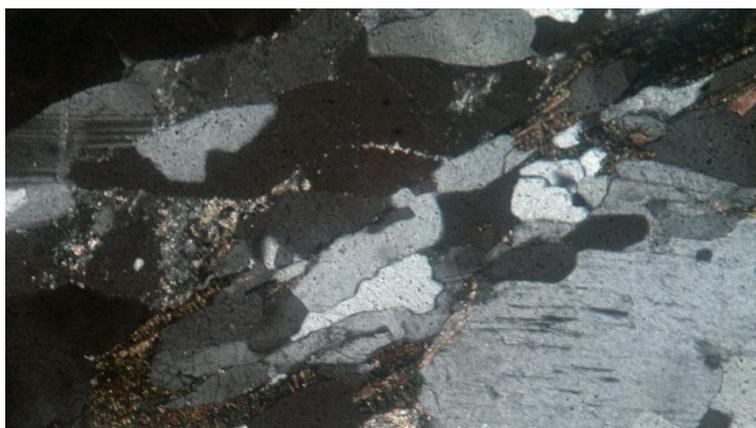


Figura 38 - Fotomicrografia da rocha ácida (dique granítico). Notar o grau de preservação dos constituintes da rocha.
Origem: Amostra coletada na Pedreira Parafuso.

A alteração dos constituintes das rochas do embasamento cristalino, em especial os feldspatos e os minerais ferromagnesianos, é fortemente favorecida pelo clima quente e úmido, com o incremento da ocorrência de fraturas que facilitam a percolação das soluções. O

produto da alteração é relativamente homogêneo, principalmente devido à homogeneidade composicional e textural das rochas, tratando-se principalmente de minerais argilosos. O grau de alteração é variável, observando-se partes da pedreira em que os litotipos estão muito alterados e também pontos com pouca alteração. As partes com maior alteração foram vistas principalmente associadas às zonas de cisalhamento. Frequentemente os cristais apresentam fraturas com preenchimento por minerais de alteração.

4.10.4 Estudo das frações granulométricas através da lupa binocular

A análise granulométrica das amostras de pó de brita obtidas da cominuição, em conjunto, dos diversos tipos litológicos que ocorrem na área da Pedreira, permitiu obter as frações listadas na Tabela 11, as quais foram estudadas sob a lupa estereoscópica, antes da lavagem. A composição mineralógica, a forma das partículas e a moda foram estimadas por observação e contagem estatística de 20 campos de vista e a contagem total, depois de referida para 100, pode ser vista nas Tabelas 22 e 24. Não foram feitas análises após a lavagem porque não é esperado que este procedimento resulte em variação mineralógica significativa.

As frações superiores a 0,5 são constituídas por partículas mistas predominantemente. As frações contidas no intervalo 0,125mm a 0,5mm são formadas por partículas liberadas e as frações situadas no intervalo abaixo de 0,125mm são formadas por partículas liberadas, porém que estão fortemente aderidas por tensão superficial. Considerando-se a homogeneidade composicional das rochas estudadas, e em comparação com a moda obtida no estudo petrográfico, a moda das frações, formadas por partículas livres e dispersas, pode ser vista como uma boa aproximação da moda das rochas exploradas pela Pedreira Parafuso.

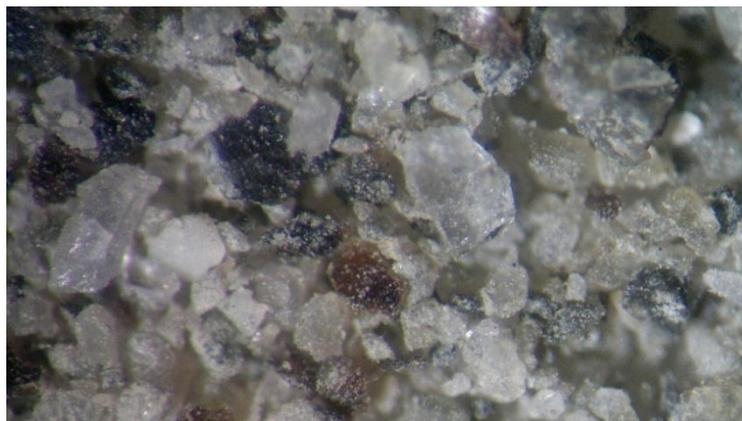


Figura 39 - Imagem obtida com a lupa binocular, da fração areia do VSI. Nota a maior uniformidade da granulometria e maior grau de esfericidade dos fragmentos.
Origem: Amostra coletada na Pedreira Parafuso.



Figura 40 - Imagem obtida com a lupa binocular, da fração areia do cone. Nota a menor uniformidade da granulometria e menor grau de esfericidade dos fragmentos.
Origem: Amostra coletada na Pedreira Parafuso.

Tabela 211 - Textura dos grãos que compõe as frações obtidas na britagem

Amostra		Nº 0153/10 Areia Natural
Cor (seca)		Branco
Mineralogia	Principal	Quartzo, feldspatos
	Subordinada	Raros fragmentos de feldspato
	Deletéria	Biotita
Grau de arredondamento		Baixo - grãos angulosos
Grau de esfericidade		Baixo
Superfície dos grãos		Rugosa
Alteração		Pouco alterada a sã
Reatividade potencial com álcalis		Potencialmente reativa

Tabela 222 - Análise das frações com a lupa binocular

Fração (mm)	Quartzo	Feldspatos	Fragmentos de rocha	Agregados Limoníticos e Argilosos	Quartzo microcrista- lino e Silex	Mica	Outros
4,8 - 2,4	0	0	0	0	0	0	0
2,4 - 1,2	0	0	0	0	0	0	0
1,2 - 0,6	100	0	0	0	0	0	0
0,6 - 0,3	100	0	0	0	0	0	0
0,3 - 0,15	98	0	0	0	0	0	2

Tabela 233 - Percentual de material retido #200 (cone)

Vista	Quartzo	Biotita	Feldspato	Muscovita	Anfibolio	Piroxênio	Granada	Misto	
1	50	6	20	3	2	6	0	13	
2	43	9	25	2	3	7	0	11	
3	33	10	25	3	6	8	1	15	
4	51	8	20	3	4	6	0	8	
5	45	7	30	2	2	5	2	7	
6	54	8	22	1	2	6	0	7	
7	44	7	30	3	1	4	1	10	
8	49	7	20	4	3	8	0	9	
9	41	9	35	3	2	4	0	6	
10	44	10	24	5	2	5	2	5	
11	33	13	35	2	3	7	0	7	
12	55	6	25	0	1	7	0	6	
13	65	4	20	3	1	3	0	4	
14	45	6	28	2	3	7	0	9	
15	40	5	33	5	3	3	1	10	
16	48	8	25	2	2	6	1	8	
17	48	6	30	1	1	5	1	8	
18	46	7	32	3	0	6	0	6	
19	44	5	30	3	2	6	0	10	
20	36	4	35	2	2	7	2	12	
Média	45,7	7,25	27,2	2,6	2,25	5,8	0,55	8,55	99,9

Tabela 23 - Mineralogia identificada pela análise com a lupa binocular. Os minerais correspondem àqueles já identificados com o microscópio petrográfico.

Tabela 244 - Morfoscopia das partículas cone em percentagem, fração < #200

Campos de vista	Esferica / Angular	Esferica / Arredondada	Não esférica / Angular	Não Esferica / Arredondado	
1	50	40	2	8	
2	60	32	5	3	
3	30	56	13	4	
4	53	40	5	2	
5	45	42	8	5	
6	50	41	6	3	
7	55	36	7	2	
8	48	37	10	5	
9	60	32	4	4	
10	55	32	8	5	
11	47	46	5	2	
12	38	46	9	7	
13	59	34	5	2	
14	50	39	7	4	
15	42	43	12	3	
16	47	45	3	5	
17	55	28	12	6	
18	40	48	5	7	
19	59	29	9	3	
20	53	36	4	7	
Média	49,8	39,1	6,95	4,35	100,2

Tabela 24 - Mineralogia identificada pela análise com a lupa binocular. Os minerais correspondem àqueles já identificados com o microscópio petrográfico.

Tabela 255 - Percentual de material retido #200 (VSI)

Campo de vista	Quartzo	Biotita	Feldspato	Muscovita	Anfibolio	Piroxênio	Granada	Misto	
1	40	5	35	3	2	5	1	9	
2	24	7	50	1	3	5	0	10	
3	53	8	27	2	2	3	0	5	
4	39	4	40	2	1	4	3	7	
5	53	7	25	2	2	5	0	6	
6	38	11	30	4	3	6	1	7	
7	47	8	28	2	2	7	0	6	
8	37	6	37	3	1	10	0	6	
9	33	10	40	1	1	6	1	9	
10	47	7	23	2	0	9	0	12	
11	45	4	28	4	3	6	1	9	
12	41	8	35	1	0	6	1	8	
13	42	5	43	0	1	5	0	4	
14	44	7	30	1	2	6	1	9	
15	48	6	27	3	3	4	2	7	
16	33	10	37	2	2	7	1	8	
17	47	7	25	5	0	9	0	7	
18	45	5	30	1	1	10	0	8	
19	36	6	38	0	2	8	0	10	
20	34	8	35	2	3	7	2	9	
Média	41,3	6,95	33,15	2,05	1,7	6,4	0,7	7,8	100,05

Tabela 266 - Morfoscopia das partículas VSI em percentagem, fração <#200

Campo de vista	Esferica / Angular	Esferica / Arredondada	Não esférica / Angular	Não Esferica / Arredondado	
1	60	28	5	7	
2	48	40	8	4	
3	53	41	4	2	
4	58	34	3	5	
5	45	43	7	5	
6	38	48	10	4	
7	54	36	5	5	
8	46	45	7	2	
9	58	31	4	7	
10	38	42	12	8	
11	44	41	7	8	
12	53	61	4	4	
13	37	52	9	2	
14	49	38	8	5	
15	40	38	14	8	
16	60	26	5	9	
17	40	45	3	2	
18	38	53	4	5	
19	39	42	10	9	
20	58	33	3	6	
Média	47,8	40,85	6,6	5,35	100,6

4.11 ANÁLISE DA ÁGUA

Sendo a água o agente principal do intemperismo químico, procurou-se pesquisar a qualidade da água dos reservatórios Joanes I, Joanes II e Santa Helena, principais reservatórios da região metropolitana de Salvador, de acordo com a legislação vigente na resolução do CONAMA 357/04-02, que limita os indicadores de pH (6 a 9), ferro dissolvido (300mg/l) e cloretos (250mg/l). Preferiu-se considerar o intervalo de pH entre 6 e 8, situado dentro dos já definidos e que permite trabalhar mais próximo da faixa neutra de pH.

O pH é um dos fatores que controlam a taxa de dissolução de uma espécie mineral. O papel do pH está relacionado à adsorção de íons H^+ e OH^- nas superfícies minerais nas quais a hidrólise é controlada pelas propriedades ácido-base e pelas ligações oxigênio-metal. As reações de dissolução ocorrem rapidamente quando a ligação oxigênio-metal é coordenada por íons hidrogênio ou hidroxila e relativamente devagar quando o sítio é neutro. A lixiviação

dos cátions tende a ser lenta em condições de pH neutro e rápida em bases e ácidos fortes. Próximo a faixa de pH neutro (pH 4-8) a dependência do pH na taxa de dissolução é fraca, principalmente para aluminossilicatos, indicando baixa solubilidade desses minerais.

A partir da tabela do Anexo A, observamos que, no lago Joanes II, somente uma amostra apresenta pH igual a 10, portanto, fora da faixa. Quanto ao teor de cloretos, nenhum ponto dos três reservatórios ultrapassa a faixa estabelecida e quanto à concentração de ferro, 8 amostras estão acima do limite estabelecido. Para Joanes I, somente uma amostra tem valor de pH superior ao limite; nenhuma amostra tem concentração de cloretos acima do intervalo e quanto à concentração de ferro, apenas uma amostra está acima do limite estabelecido. Para Santa Helena, somente uma amostra apresenta um teor de ferro superior ao limite estabelecido.

Com base nos resultados de cloro, ferro e pH (Anexo A), apresentados para os reservatórios Joanes I, Joanes II e Santa Helena, é pouco provável que filtros de areia natural ou artificial venham a sofrer um ataque químico. Entretanto, os valores elevados de ferro detectados em alguns pontos, indicam a possibilidade de redução da capacidade de filtração devido à obstrução do meio filtrante por precipitados de origem ferrosa, principalmente por parte das ferro-bactérias.

5 CONCLUSÕES

Nas Pedreiras Parafuso a atividade principal corresponde a produção de brita de bitolas comerciais, no entanto a produção de finos é inevitável e o trabalho se propôs caracterizar este material que, sendo a principio indesejável, pode-se constituir em um produto de grande aproveitamento na construção civil.

Inicialmente, foram construídas curvas granulométricas das areias natural e britadas (do VSI e do cone), processadas no laboratório de geotecnia da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Contatou-se ser necessário reduzir a percentagem de finos, que corresponde ao material passante na peneira de abertura 0,075 mm, conforme prescreve o Manual de Critério de Projeto da Eletrobrás (2003).

O padrão de distribuição granulométrico revelado pelas areias mostrou que não existe possibilidade de substituição total da areia natural por areias britadas, quando se trata da utilização em obras de terra. Esta restrição fica evidenciada pela interseção das curvas granulométricas obtidas. Conforme o que prescreve o manual de projeto da Eletrobrás, para que seja possível a substituição as curvas devem ser paralelas. Isto é, se a substituição fosse da areia natural pela areia britada, as curvas granulométricas teriam que ser paralelas.

A análise das curvas granulométricas das areias após a lavagem mostrou que a curva da areia natural praticamente se manteve a mesma, enquanto as curvas referentes às areias britadas sofreram modificações acentuadas. A areia britada obtida do VSI, após o peneiramento mostrou que o passante na peneira de 0,075 mm reduziu, de 8% antes da lavagem para 3,29% após lavagem. Na areia britada do cone, o percentual de material passante nesta peneira reduziu de 15% para 1,70% após a lavagem. A curva do cone situa-se ligeiramente à direita da curva do VSI, portanto, a areia do cone é mais grossa do que a areia do VSI, porem mantem-se o paralelismo entre as curvas no intervalo de 30% a 90%.

A depender da granulometria do solo de montante a ser protegido, pode-se misturar as areias conforme recomenda o Manual de Critério de Projeto da Eletrobrás (2003), descartando as frações inferiores a 0,84mm e superiores a 4,75mm. As proporções devem ser testadas, para atender às especificações.

O padrão paralelo mostrado pelas curvas das areias britadas permitiu concluir que as mesmas divergem apenas pela granulometria. Os valores de permeabilidade situaram-se no intervalo de variação previsto por Casagrande e Fadum (1940) e atendem aos requisitos exigidos para valores de permeabilidade em filtros de barragem.

Na composição das rochas exploradas predominam quartzo e feldspato. A análise em campo de vista em lupa binocular mostrou que os fragmentos produzidos pelo britador VSI tem forma predominante esférica arredondada. Isso é esperado pelo fato do VSI ser um impactador de eixo vertical que tem a finalidade de produzir fragmentos com estas características. Já o cone cominui a rocha por impacto e a forma das partículas se aproxima daquela esférica angulosa.

Considerando que a permeabilidade é influenciada pela forma dos grãos, conclui-se que o produto do britador VSI apresentará uma maior permeabilidade em comparação com o produto do cone, já que sua forma é mais arredondada, gerando espaços vazios entre os grãos e facilitando o fluxo de água. Esta condição é um dos fatores que viabilizam a substituição parcial da areia natural pela areia artificial, em filtros de barragem.

As areias provem dos mesmos tipos litológicos e tem o mesmo comportamento diante dos ensaios de durabilidade. Os ensaios de ciclagem artificial água-estufa e a avaliação do comportamento mediante ciclagem acelerada com etilenoglicol revelaram que a rocha é bastante resistente à meteorização. No ensaio de abrasão o material demonstrou uma grande resistência ao atrito, entre os grãos internamente e entre os grãos e um possível agente externo. O ensaio de compressão simples indicou que o material é resistente e permite o manuseio sem perda de massa e mudança de forma.

O papel do pH está relacionado à adsorção de íons H^+ e OH^- nas superfícies minerais nas quais a hidrólise é controlada pelas propriedades ácido-base e pelas ligações oxigênio-metal. Observamos que, no lago Joanes II, somente uma amostra apresenta pH igual a 10, portanto, fora da faixa. Com base nos resultados de cloro, ferro e pH (Anexo A), apresentados pelos reservatórios Joanes I, Joanes II e Santa Helena, é pouco provável que a areia britada utilizadas em obras de terra venha a sofrer alteração química em proporções significativas além do esperado no processo geológico.

Não foram encontradas, na literatura, referencias aos limites de aceitação das perdas detectadas nos ensaios de meteorização.

Embora não constitua o objetivo deste trabalho analisar a conveniência do aproveitamento dos finos produzidos nas operações de britagem das Pedreiras Parafuso, o estudo deixou evidente a necessidade da separação dos finos, a fim de selecionar, de forma mais eficiente, a fração de interesse, que corresponde as areias britadas conforme definido por Lang (2006) modificado por Elzimar (2012). Para garantir a viabilidade econômica do aproveitamento da areia artificial produzida torna-se necessária a separação eficiente dos finos, ou seja, aquela fração passante na peneira de abertura 0,075mm. Esta separação pode ser obtida por via seca ou via úmida.

Por via seca, acredita-se que o processo não teria a eficiência pretendida, devido, entre outros inconvenientes, à poeira gerada no processo de peneiramento e cominuição.

O processo por via úmida, a exemplo do que ocorre nas barragens de Itá (Santa Catarina) e Tocoma (Venezuela), tem sido aplicado em obras de terra. A lavagem do material britado, com a finalidade de reduzir ou eliminar o material passante na peneira de abertura 0,075mm, deverá ser feita nas proximidades da planta de produção. O projeto dependerá, essencialmente, do volume de areia a ser lavada e do tempo necessário. Evidentemente todo o projeto de lavagem deverá ser submetido à apreciação dos órgãos ambientais.

Foi testada a separação por via úmida e o resultado obtido recomenda a sua utilização, no entanto, deve-se levar em conta o custo mais elevado devido à utilização da água, da necessidade de uma bacia de decantação e do estoque do rejeito.

A substituição parcial da areia natural pela areia artificial é viável, pois reduz os custos quando a distancia de transporte for superior a 40 quilômetros; nessas condições pode ser demonstrado que o custo de transporte fica, no mínimo em torno de R\$ 15,00 por tonelada, considerando, o custo de R\$ 0,35 ton/km. Portanto, em especial nas obras de terra a condição mais recorrente se refere a grandes distancias da obra em relação as jazidas naturais de areia, enquanto a disponibilidade de material rochoso é grande, bastando instalar uma central de britagem nas proximidades da obra.

Os finos produzidos nas usinas de britagem e separados por peneiramento e lavagem poderão ser aproveitados na produção de materiais cerâmicos e na preparação de argamassa e filer. Nesse caso, recomenda-se a caracterização desta fração, através da análise por difratometria e fluorescência de raio x e por microscopia eletrônica.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM51 - Ensaio de Abrasão de Los Angeles, Rio de Janeiro, Maio, 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. DNER ME 089 - Ensaio de Abrasão de Los Angeles, Rio de Janeiro, Maio, 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM27 - Agregados - Redução da amostra decampo para ensaios de laboratório, Rio de Janeiro, Maio, 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, Outubro, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12004 - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos, Rio de Janeiro, Novembro, 1990.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12051 - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não-coesivos, Rio de Janeiro, Fevereiro, 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5734 - Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos, Rio de Janeiro, Janeiro, 1968.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9941 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório, Rio de Janeiro, Agosto, 1987.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 26 - Agregados - Amostragem, Rio de Janeiro, Outubro, 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR MB3388 - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos, Rio de Janeiro, Fevereiro, 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR MB3324 - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos, Rio de Janeiro, Novembro, 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM46 - Determinação do material fino que passa através da peneira 75mm, por lavagem, Rio de Janeiro, Julho, 2003.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM248 - Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, Julho, 2003.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502 - Escala granulométrica, Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 - Determinação granulométrica do solo, Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12697 - Avaliação do comportamento mediante ciclagem acelerada com etilenoglicol, Rio de Janeiro, Outubro, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12696 - Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa, Rio de Janeiro, Setembro, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13292 - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante, Rio de Janeiro, Abril, 1995.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM26 - Amostragem, Rio de Janeiro, Novembro, 2009.

ALMEIDA, F. F. M., O Craton do São Francisco, **Revista Brasileira Geociências** 7: 349-364, 1977.

ASSIS, A.P.; Hernandez, H.M.; Colmanetti, J.P. **Apostila: Publicação** G.AP-AA006 102. Universidade de Brasília, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: apresentação de citações em documentos: procedimentos. Rio de Janeiro, 1988.

AZEVEDO, Maria da Penha Nogueira. **Barragens de terra - Sistemas de Drenagem Interna**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Anhembi Morumbi, 2005.

BARBOSA J.S.F. & Sabaté P. 2004. **Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Cráton**, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Prec. Res.*, **133**:1-27.

BARBOSA J.S.F., Corrêa-Gomes L.C., Dominguez J.M.L., Cruz S.A.S., Souza J.S. 2005. **Petrografia e Litogeoquímica das Rochas da Parte Oeste do alto de Salvador**, Bahia, *Rev. Bras. Geoc.*, Volume **35**(4 - Suplemento): 9-22.

BARBOSA J.S.F. & Sabaté P. 2002. **Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archean Crustal segments of the São Francisco Craton**, Bahia, Brazil. A synthesis. *Anais Acad. Bras. Ciências*, **74**(2):343-359.

BASTOS, C. Notas de aula, DMC/FURG, **Mecânica dos solos**, 2009.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**, 5ª edição revisada, 2000.

BERNUCCI, Liedi B.; Motta, Laura M.G.; Ceratti, José. Augusto Pereira.; Soares, José Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás, ABEDA, 2006.

BERTRAM, G.E. (1940) - "**An Experimental Investigation of Protective Filters**", Soil Mechanics, Series No. 7, Publication No. 267, Graduate School of Engineering, Harvard University, Cambridge, MA, pp 1-21.

BOURDEAUX, Guy. **Barragens extensão Universitária**. FEFUMEC, 1982.

BRAJA, M. Das **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução All Tasks: revisão técnico Pérsio Leister de Almeida Barros. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das Rochas**. Fundações-Obras de Terra. Rio de Janeiro, livros técnicos e científicos. 6. 1967.

CASAGRANDE, A.; FADUM, R. E. **Notes on Soil Testing for Engineering Purposes Soil Mech**. Series No. 8, Harvard Graduate School of Engineering. (1940).

CPRM, **Materiais de Construção Civil na Região Metropolitana de Salvador**, 2008.

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras: casos históricos materiais de construção, projeto**. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. ME 089 - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio, Rio de Janeiro, 1994.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. ME 054 – Equivalente de areia, Rio de Janeiro, 1997.

ELETROBRÁS. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. CBDB, 2003.

FELIPPE, J.S. Filho. Notas de Aula. **Barragens de Terra e Enrocamento**. Belo Horizonte, 2008.

LANG, C. L.; Rocha, J. C. **Desempenho de sistemas construtivos**, características físicas da areia britada de origem basálticas e estudo de dosagem para concreto à base de cimento Portland para fins estruturais, 2006.

MACHADO, S. L.; Machado, M. F. C. **Mecânica dos solos I**, conceitos introdutórios, Universidade Federal da Bahia, setor de Geotecnia.

MARANGON, Marcio. **Elementos de Geologia**, Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de transporte e geotecnia, 1995.

MASSAD, Faical. **Obras de Terra**: Curso básico de geotécnica. São Paulo, Oficina de texto, 2003.

METSO, minerals. **Manual de Britagem**. 6. São Paulo, 2005. Metso Brasil Indústria e Comércio LTDA.

OLIVEIRA JUNIOR T.R. 1990. **Geologia do extremo nordeste do Cráton do São Francisco**, Bahia. Dissertação de Mestrado, IG/UFBA, 126 p.

PAUL K, P. et al. **An alternative to natural sand**. Kerala, Índia, 137f. Monografia (B.Tech. degree in Civil Engineering) – Department of Civil Engineering, Mahatma Gandhi University.

PERONI, Rodrigo. **Rochas ígneas**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia de Minas, 2003.

PETRÚCIO, Eládio G. R., **Materiais de Construção Civil**, 1981.

PINTO, Carlos Souza. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2000, 247 p.

REINALDO PINHEIRO, **Mecânica dos solos, granulometria dos solos**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de tecnologia, 2010.

ROBERTS,F.; Kandhal, P.S.; Brown, E.R.; Lee, D.Y.; Kennedy, T.W. **Hot mix asphaet materials, mixture design and construction**. 2. Langam, Maryland: Nasa Research and Education Foundation, 1996.

SÁ, M.B.L. **Fatores Análise e controle de percolação**. In: ABMS, Barragem de terra e Enrocamento. Cursos de Extensão Universitária. Núcleo Regional de Brasília, 1981, cap. IX.

SEARA, Roberto Werneck. **Avaliação do desempenho da barragem da Usina hidrelétrica Governador Parigot de Souza (Cativari-Cachoeira)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO, 2010.

SILVA F.C.A. 1995. **Estudo estrutural do greenstone belt paleoproterozóico do Rio Itapicuru (Bahia): importância dos granitos sintectônicos, controle das mineralizações**

auríferas e evolução transamazônica do Cráton do São Francisco. In: SBG, SNET, 5., Gramado, *Resumos Expandidos*, 331-333.

SILVA L.C., McNaughton N.J., Melo R.C., Fletcher I.R. 1997. **U-Pb SHRIMP ages in the Itabuna-Caraíba TTG high-grade Complex: the first window beyond the Paleoproterozoic overprinting of the eastern Jequié craton**, NE Brazil. In: ISGAM - Intern. Symp. Granites and Assoc. Mineralizations, 2, Salvador, *Anais*, 282-283.

SOARES, J.M.D; Pinheiro, R.J.B; Tavares, I.S. Notas de Aula: **Mecânica dos Solos**. Santa Maria, Maio, 2006.

Disponível em: <http://www.scrib.com/doc/54688799/Mecanica.dos.solos-UFSM>.

Acesso em: 08/09/2011 às 20:05h.

SOUZA, J. S., Barbosa, J. S. F., Correa-Gomes, L. C. 2010. **Litogeoquímica dos granulitos ortoderivados da Cidade de Salvador**, BA. Revista Brasileira de Geociências 40(3):339-354.

TERZAGHI, Karl; Peck, Ralph. **Mecânica dos Solos na Prática da Engenharia**. Ao Livro Técnico S.A. Rio de Janeiro, 1962.

TERZAGHI, K. **Fifty YEARS OF Subsoil**. In: Relatório Rodio S.A. Rio de Janeiro, 1964.

VARGAS, M. **Aproveitamento Capivari-Cachoeira** – Relatório de estudos Procedidos para a Implantação da Barragem de Concreto e Possibilidade de Construção de Barragens de Terra, São Paulo, 1962.

VERTEMATTI, José Carlos; AGUIAR, Paulo Roberto. **Sistemas Drenantes**. Aspectos Teóricos e Práticos. Campinas. Faculdade de Engenharia Civil: Unicamp, 1977.

7 ANEXO

Anexo A - Resultados Físico-químicos dos lagos Joanes I, Joanes II e Santa Helena

Data	Hora	Endereço	Nome da Categoria	Classe	Amostra	Obs	Cloreto mg Cl/L	Fe. Dis. ugFedist/L	pH	pH(6 - 8)
26/01/2011	09:05	Rod. BA 093 JOII - REP KM 14	Represa Joanes II	Água Bruta	3703		31,5	<10	7,3	ok
26/01/2011	10:30	Rod. BA 093 JOII - 01	Rio Joanes II	Água Bruta	3704		26,1	492	6,1	ok
26/01/2011	10:13	Rod. BA 093 JOII - 02	Rio Joanes II	Água Bruta	3705		29,9	184	6,6	ok
26/01/2011	09:55	Rod. BA 093 JOII - 03	Rio Joanes II	Água Bruta	3706		27,2	64,6	6,1	ok
26/01/2011	09:30	Rod. BA 093 JOII - 04 Acesso SS Passé	Rio Joanes II	Água Bruta	3707		75,12	67,8	7	ok
26/01/2011	12:26	Rod. BA 093 JOII - 05 KM 589 - Sentido Feira	Rio Joanes II	Água Bruta	3708		135	1,21	6,8	ok
26/01/2011	13:10	Rod. BA 093 JOII - 06 KM 584 - Sentido SSA	Rio Joanes II	Água Bruta	3709		134	457	7,6	ok
26/01/2011	12:00	V do Canal de Tráfego JOII - 07	Rio Joanes II	Água Bruta	3710		160	119	6,3	ok
26/01/2011	11:31	V do Canal de Tráfego JOII - 08 KM 9/10	Rio Joanes II	Água Bruta	3711		35,5	16,3	7,3	ok
27/01/2011	10:08	Rod Linha Verde Vertedouro	Represa Santa Helena	Água Bruta	3985		48,6	<10	7,4	ok
01/02/2011	08:20	Bx do Jambeiro (Areia Branca) JOI - REP	Represa Joanes I	Água Bruta	4598		25,5	<10	7,5	ok
01/02/2011	11:59	A Rural (Lama Preta) JOI - 03	Rio Joanes II	Água Bruta	4599		23,8	452	6,8	ok

Data	Hora	Endereço	Nome da Categoria	Classe	Amostra	Obs	Cloreto mg Cl/L	Fe. Dis. ugFedist/L	pH	pH(6 - 8)
01/02/2011	14:14	Av José Ananias Santana (Góes Calmon) JOI - 05	Rio Joanes II	Água Bruta	4601		72	124	7,1	ok
01/02/2011	09:59	Dt Parafuso (Praianha) JOI - 06	Rio Joanes II	Água Bruta	4602		33,5	29,6	10	não
01/02/2011	11:28	Rod. BA 093 JOI - 01 Ponte KM 10/12	Rio Joanes I	Água Bruta	4603		21,5	311	6,7	Ok
01/02/2011	10:48	V Parafuso JOI - 02 KM 19	Rio Joanes I	Água Bruta	4604		18,3	108	6,1	Ok
01/02/2011	09:22	V Parafuso JOI - 07 KM 6	Rio Joanes I	Água Bruta	4605		31,3	13,3	9,5	Não
12/07/2011	12:54	Rod. BA 093 JOII - 01	Rio Joanes II	Água Bruta	32084		18,1		6,8	Ok
12/07/2011	12:30	Rod. BA 093 JOII - 02	Rio Joanes II	Água Bruta	32085		9,97		6,7	Ok
12/07/2011	12:15	Rod. BA 093 JOII - 03	Rio Joanes II	Água Bruta	32086		10,4		6,3	Ok
12/07/2011	09:00	Rod. BR 324 JOII - 05 KM 589 - Sentido Feira	Rio Joanes II	Água Bruta	32088		41,8		6,4	Ok
12/07/2011	09:27	Rod. BR 324 JOII - 06 KM 584 - Sentido SSA	Rio Joanes II	Água Bruta	32089		34,1		6,5	Ok
12/07/2011	10:12	V do Canal de Tráfego JOII - 07	Rio Joanes II	Água Bruta	32090		60,8		6,4	Ok
12/07/2011	10:56	V do Canal de Tráfego JOII - 08 KM 9/10	Rio Joanes II	Água Bruta	32091		13,1		6,8	Ok
12/07/2011	11:35	Rod BA 093 JOII - REP KM 14	Represa Joanes II	Água Bruta	32092		10,3		6,7	Ok
25/07/2011	09:00	Rod Linha Verde Vertedouro	Represa Santa Helena	Água Bruta	34892		12,3	314	6,5	Ok
26/07/2011	11:42	Rod BA 093 JOII - 01	Rio Joanes II	Água Bruta	35096			348		

Data	Hora	Endereço	Nome da Categoria	Classe	Amostra	Obs	Cloreto mg Cl/L	Fe. Dis. ugFedist/L	pH	pH(6 - 8)
26/07/2011	11:11	Rod BA 093 JOII - 02	Rio Joanes II	Água Bruta	35097			93,8		
26/07/2011	10:49	Rod BA 093 JOII - 03	Rio Joanes II	Água Bruta	35098			251		
26/07/2011	10:22	Rod BA 093 JOII - 04 Acesso SS Passé	Rio Joanes II	Água Bruta	35099		9,52	249	6,7	Ok
26/07/2011	08:11	Rod BR 324 JOII - 05 KM 589 - Sentido Feira	Rio Joanes II	Água Bruta	35100			1,67E+03		
26/07/2011	08:39	Rod BR 324 JOII - 06 KM 584 - Sentido SSA	Rio Joanes II	Água Bruta	35101			63,6		
26/07/2011	09:00	V Canal de Tráfego JOII - 07	Rio Joanes II	Água Bruta	35102			306		
26/07/2011	09:29	V Canal de Tráfego JOII - 08 KM 9/10	Rio Joanes II	Água Bruta	35103			471		
26/07/2011	09:58	Rod BA 093 JOII - REP KM 14	Represa Joanes II	Água Bruta	35217			487		
02/08/2011	10:35	A Rural (Lama Preta) JOI - 03	Rio Joanes I	Água Bruta	36655		13,8	375	6,4	Ok
02/08/2011	12:20	Av São José Ananias Santana (Góes Calmon) JOI - 05	Rio Joanes I	Água Bruta	36657		39,3	149	6,6	Ok
02/08/2011	09:25	Dt Parafuso (Prainha) JOI - 06	Rio Joanes I	Água Bruta	36658		18,6	141	7,5	Ok
02/08/2011	11:10	Rod BA 093 JOI - 01 Ponte KM 10/12	Rio Joanes I	Água Bruta	36659		17,8	139	6,4	Ok
02/08/2011	09:50	V Parafuso JOI - 02 KM 19	Rio Joanes I	Água Bruta	36660		8,95	32,5	6	Ok
02/08/2011	13:10	V Parafuso JOI - 07 KM 6	Rio Joanes I	Água Bruta	36661		19,7	86,7	7,1	Ok

Data	Hora	Endereço	Nome da Categoria	Classe	Amostra	Obs	Cloreto mg Cl/L	Fe. Dis. ugFedist/L	pH	pH(6 - 8)
02/08/2011	13:35	Bx do Jambeiro (Areia Branca) JOI - REP	Represa Joanes I	Água Bruta	36663		13,9	<10	6,5	Ok
TOTAL	0	0	0	0	42	0	34	34	34	

Fonte: EMBASA (2011)