

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL**

MICHEL WILLYAM PAIXÃO DA SILVA

**MODELAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE UMA JAZIDA DE
AREIA DO MUNICÍPIO DE IGARASSU-PE**



**RECIFE
2015**

MICHEL WILLYAM PAIXÃO DA SILVA

**MODELAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE UMA JAZIDA DE
AREIA DO MUNICÍPIO DE IGARASSU-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Mineral, com área de concentração em Minerais Industriais.

Orientador: Dr. Belarmino Barbosa Lira

RECIFE

2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586M Silva, Michel Willyam Paixão da.
Modelagem e caracterização de uma jazida de areia do município de Igarassu-PE / Michel Willyam Paixão da Silva. - Recife: O Autor, 2015.
100 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2015.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2. Areia. 3. Lavra. 4. Jazida. I. Lira, Belarmino Barbosa. (Orientador). II. Título.

UFPE

622.35 CDD (22. ed.)

BCTG/2015-266



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
MICHEL WILLYAM PAIXÃO DA SILVA
“MODELAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE UMA JAZIDA DE AREIA DO
MUNICÍPIO DE IGARASSU-PE”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência

do **Dr. Belarmino Barbosa Lira**

MICHEL WILLYAM PAIXÃO DA SILVA, Aprovado.

Recife, 14 de Agosto de 2015.

Prof. Dr. BELARMINO BARBOSA LIRA

Orientador (UFPB)

Prof. Dr. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA

Examinador Interno (UFPE)

Prof. Dr.^a GICÉLIA RODRIGUES

Examinador Externo (UFPB)

A meu pai Anselmo, minha mãe Ângela
e meu irmão Mickey.

A minha esposa Alexciane e a toda a
minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a DEUS que me Abençoou e me Deu a Graça de concluir este trabalho.

A minha família que está sempre comigo, me apoiando, incentivando, ensinando, protegendo e me acolhendo.

A minha esposa Alexciane Vieira, a qual amo e sou feliz ao seu lado.

Aos meus amigos e irmãos em Cristo, pois com eles aprendo a viver.

A Mineração Petribú, pertencente à Usina São José, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos Laboratórios de Tecnologia Mineral – LTM, de Planejamento de Lavra – LAPLA, de Isótopos Estáveis - LABISE e ao Núcleo de Estudos Geoquímicos, todos da UFPE, e ao Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas – LABEME, da UFPB, pelos trabalhos realizados.

A CAPES pelo auxílio da bolsa de estudo.

Aos funcionários da UFPE e do PPGEM, em especial Edna Santos e Voleide Barros, pelo carinho e atenção.

Ao professor Eldemar Menor pela colaboração na parte de análises química semi-quantitativa e de Difractometria de Raio-X.

A todos que contribuíram para a formulação deste trabalho, principalmente ao orientador, professor Dr. Belarmino Barbosa Lira e ao coorientador professor Dr. Júlio César de Souza.

“O homem sem temor a Deus é como
um grão de areia; mas, se teme ao
Senhor, ele é como uma rocha
inabalável.”

HELGIR GIRODO

RESUMO

Este trabalho apresenta a modelagem e caracterização de uma jazida de areia e analisa a viabilidade técnica da mesma, para que a areia seja utilizada como agregado para construção civil. A jazida mineral está localizada às margens da rodovia federal BR-101, à noroeste do município de Igarassu, região metropolitana do Recife-PE e pertence a uma mineração local. Primeiramente, foi realizada uma pesquisa mineral no local do depósito, através de levantamentos geológicos, levantamentos topográficos e sondagens, para cubagem do mesmo. Em seguida, foram efetuadas várias análises físicas e químicas das características do material a ser extraído, tais como: caracterização e qualidade, análises granulométricas, análise química semi-quantitativa e análise de difração de raios-X. Na sequência, foi executada a modelagem geológica do corpo mineral, através do software DATAMINE STUDIO 3.0, para avaliar o seu potencial, sua dimensão e a viabilidade da lavra. Além disso, foram fornecidos subsídios para a elaboração de um projeto do empreendimento mineiro a ser implantado: lavra, carregamento e transporte, beneficiamento (com uma unidade de classificação) e os principais equipamentos necessários para este empreendimento. A partir dos resultados obtidos, constatou-se a viabilidade da areia para ser utilizada como agregado miúdo na construção civil, com a necessidade do tratamento prévio da mesma para se adequar as normas da ABNT, e obteve-se um volume médio de cerca de 7,5 milhões de metros cúbicos, ressaltando a exequibilidade da exploração da jazida com uma vida útil de aproximadamente 60 anos, para uma produção média de 25.000 m³/mês.

Palavras-chave: Areia. Lavra. Jazida.

ABSTRACT

This work presents the modeling and characterization of a sand mine and analyze the technical feasibility of the same, so that sand be used as aggregate for civil construction. The mineral deposit is located on the edge of federal highway BR-101, to the northwest of the city of Igarassu, metropolitan area of Recife-PE and belongs to a local mining. First, a mineral survey was conducted at the site of deposit, through geological surveys, topographical surveys and drilling to cubage the same. Then, they were made several physical and chemical analysis of the characteristics of the material to be extracted, such as: characterization and quality, granulometric analyses, semi-quantitative chemical analysis and diffractometry analysis of X-ray. Following, it was executed the geological modeling of the mineral body, through datamine STUDIO 3.0 software to assess their potential, their dimension and viability of the mining operation. In addition, subsidys were provided for the elaboration of a mining project design to be implemented: mining, loading and transportation, beneficiation (with a classification unit) and the main equipment needed for this project. From the results, the feasibility of sand was found to be used as kid aggregate in civil construction, with the need for pretreatment of the same to suit the ABNT, and obtained an average volume of about 7,5 million cubic meters, emphasizing the exequibility of deposit exploration with a lifespan of about 60 years, to an average production of 25,000 m³/month.

Key-words: Sand. Mining. Deposit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Lavra pelo método de Desmonte Hidráulico.	21
Figura 2 – Lavra pelo método da Dragagem.....	23
Figura 3 – Lavra pelo método de Desmonte Mecânico.....	24
Figura 4 – Log Washer.....	26
Figura 5 – Scrubber.	27
Figura 6 – Lavador de Rosca.	28
Figura 7 – Peneira Vibratória Horizontal.	29
Figura 8 – Classificador Espiral.....	30
Figura 9 – Ciclone.	31
Figura 10 – Localização da jazida.....	33
Figura 11 – Mapa com acessos à Igarassu.	34
Figura 12 – Mapa geológico de Igarassu-PE.	35
Figura 13 – Furos de sondagem.	38
Figura 14 – Equipamento realizando o trabalho de sondagem.....	39
Figura 15 – Amostra da areia da jazida sendo quarteada.....	40
Figura 16 – Strings ligando os furos de sondagem.....	44
Figura 17 – Material compactado encontrado na jazida.....	50
Figura 18 – Vista tridimensional da jazida dividida em vários triângulos.....	62
Figura 19 – Determinação do modelo geológico da jazida de areia.....	63
Figura 20 – Vista tridimensional da jazida preenchida por blocos.....	64
Figura 21 – Peneira tipo “banana”.....	66
Figura 22 – Esquema de funcionamento da peneira tipo “banana”.....	67
Figura 23 – Unidade de classificação a ser implantada.	69
Figura 24 – Equipamento para realização da sondagem.....	94
Figura 25 – Escavações mostrando o perfil do solo.....	94
Figura 26 – Escavações mostrando o perfil do solo.....	95
Figura 27 – Escavações mostrando o perfil do solo.....	95
Figura 28 – Escavações mostrando o perfil do solo.....	96
Figura 29 – Equipamentos fazendo o carregamento do material.....	96
Figura 30 – Vista da jazida.....	97
Figura 31 – Vista da jazida.....	97

Figura 32 – Área requerida para implantação da jazida.....	98
Gráfico 1 – Curva granulométrica da amostra B.	52
Gráfico 2 – Distribuição Granulométrica Representativa de todo o depósito de areia.....	55
Gráfico 3 – Difratoograma de raios-X.....	58
Gráfico 4 – Difratoograma de raios-X.....	59
Gráfico 5 – Difratoograma de raios-X.....	59
Gráfico 6 – Curva granulométrica da amostra 1.....	78
Gráfico 7 – Curva granulométrica da amostra 2.....	79
Gráfico 8 – Curva granulométrica da amostra 3.....	80
Gráfico 9 – Curva granulométrica da amostra 4.....	81
Gráfico 10 – Curva granulométrica da amostra 5.....	82
Gráfico 11 – Curva granulométrica da amostra 6.....	83
Gráfico 12 – Curva granulométrica da amostra 7.....	84
Gráfico 13 – Curva granulométrica da amostra 8.....	85
Gráfico 14 – Curva granulométrica da amostra 9.....	86
Gráfico 15 – Curva granulométrica da amostra 10.....	87
Gráfico 16 – Curva granulométrica da amostra 11.....	88
Gráfico 17 – Curva granulométrica da amostra 12.....	89
Gráfico 18 – Curva granulométrica da amostra 13.....	90
Gráfico 19 – Curva granulométrica da amostra 14.....	91
Gráfico 20 – Curva granulométrica da amostra 15.....	92
Gráfico 21 – Curva granulométrica da amostra 16.....	93
Quadro 1 – Forma de ocorrências e métodos de extração.	20
Quadro 2 – Resumo das atividades realizadas em campo e os respectivos equipamentos.....	39
Quadro 3 – Resumo dos experimentos realizados e seus respectivos equipamentos e laboratórios.....	47
Quadro 4 – Coordenadas, profundidades e características dos furos de sondagem.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação por uso de Areia.	19
Tabela 2 – Massa unitária (agregado miúdo).....	51
Tabela 3 – Análise granulométrica da amostra B.....	52
Tabela 4 – Dados da amostragem dos 16 furos de sondagem selecionados para compor a análise granulométrica representativa do material.	54
Tabela 5 – Limites granulométricos do agregado miúdo (areia).	55
Tabela 6 – Resultado das análises químicas semi-quantitativas.	57
Tabela 7 – Volumes dos triângulos obtidos pelo software DATAMINE.....	61
Tabela 8 – Análise granulométrica da amostra 1.....	78
Tabela 9 – Análise granulométrica da amostra 2.....	79
Tabela 10 – Análise granulométrica da amostra 3.....	80
Tabela 11 – Análise granulométrica da amostra 4.....	81
Tabela 12 – Análise granulométrica da amostra 5.....	82
Tabela 13 – Análise granulométrica da amostra 6.....	83
Tabela 14 – Análise granulométrica da amostra 7.....	84
Tabela 15 – Análise granulométrica da amostra 8.....	85
Tabela 16 – Análise granulométrica da amostra 9.....	86
Tabela 17 – Análise granulométrica da amostra 10.....	87
Tabela 18 – Análise granulométrica da amostra 11.....	88
Tabela 19 – Análise granulométrica da amostra 12.....	89
Tabela 20 – Análise granulométrica da amostra 13.....	90
Tabela 21 – Análise granulométrica da amostra 14.....	91
Tabela 22 – Análise granulométrica da amostra 15.....	92
Tabela 23 – Análise granulométrica da amostra 16.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUDENE	- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM	- Departamento Nacional de Produção Mineral
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Brasileira
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
ANEPAC	- Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
ROM	- Run of Mine
GPS	- Global Positioning System
NEG	- Núcleo de Estudos Geoquímicos
LABISE	- Laboratório de Isótopos Estáveis
UFPE	- Universidade Federal de Pernambuco
DRX	- Difração de Raio-X
LTM	- Laboratório de Tecnologia Mineral
COD	- Crystallography Open Dates
CSV	- Comma Separated Values
LABEME	- Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas
UFPB	- Universidade Federal da Paraíba
LAPLA	- Laboratório de Planejamento de Lavra
APP	- Área de Preservação Permanente
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
PAE	- Plano de Aproveitamento Econômico
EIA	- Estudo de Impacto Ambiental
RIMA	- Relatório de Impacto Ambiental
SIGMINE	- Sistema de Informações Geográficas da Mineração
PIB	- Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	DEFINIÇÃO DE AREIA	17
2.2	TIPOS DE DEPÓSITOS DE AREIA	18
2.3	USOS E DESTINAÇÃO DA AREIA	18
2.4	MÉTODOS DE LAVRA E BENEFICIAMENTO DA AREIA	19
2.4.1	Desmonte hidráulico	20
2.4.2	Dragagem	22
2.4.3	Desmonte mecânico	24
2.4.4	Carregamento e Transporte de Areia	25
2.4.5	Beneficiamento da Areia	25
2.4.5.1	Lavagem e Desagregação	26
2.4.5.2	Peneiramento	28
2.4.5.3	Classificação e Deslamagem	29
2.5	ASPECTOS AMBIENTAIS DA LAVRA DE AREIA	31
3	DADOS SOBRE O LOCAL DA JAZIDA	33
3.1	LOCALIZAÇÃO	33
3.2	GEOLOGIA	34
4	METODOLOGIA	36
4.1	LEVANTAMENTO GEOLÓGICO	37
4.2	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	37
4.3	SONDAGEM	38
4.4	CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE	40
4.5	ANÁLISE QUÍMICA SEMI-QUANTITATIVA	41
4.6	ANÁLISE DE DRX	41
4.7	MODELAGEM GEOLÓGICA	42
4.7.1	Análise e Tratamento dos Dados	43

4.7.2	Modelo Geológico em 3D.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1	SONDAGEM	48
5.2	CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE	50
5.3	ANÁLISE QUÍMICA SEMI-QUANTITATIVA.....	56
5.4	ANÁLISE DE DRX	58
5.5	MODELAGEM GEOLÓGICA	60
5.5.1	Calcúlo da Reserva de Areia	60
6	PROJETO DO EMPREENDIMENTO	65
7	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXO A ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS.....	78
	ANEXO B REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	94

1 INTRODUÇÃO

Segundo o site da Sociedade dos Mineradores de Areia do Rio Jacui Ltda. (2015), a areia é um dos materiais mais importantes para o bem estar da sociedade moderna. Ela é o segundo bem mineral mais consumido no mundo, superado apenas pela água. No Brasil, a produção de areia é duas vezes maior que a de ferro.

De acordo com o Sumário Mineral de 2014 do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a maior parte da areia produzida no Brasil é consumida na indústria da construção civil. Sua aplicação encontra-se dividida entre os subsetores de revenda (lojas de materiais de construção), concreto pré-misturado, fabricação de pré-moldados de concreto, concreto asfáltico e material para compor a base/sub-base de rodovias.

O Relatório Técnico 31 do Ministério de Minas e Energia (2009) afirma que os recursos minerais de areia são abundantes, pois a areia natural advém de processos intempéricos, seguidos ou não de outros processos do ciclo das rochas, como erosão, transporte e deposição, que se estabelecem de maneira constante, em todo o planeta. Mas, em alguns casos, podem não ocorrer recursos minerais suficientes para atender à demanda regional e a região precisa trazer areia de outros locais.

Apesar de ser um mineral abundante e apresentar baixo valor unitário, o consumo de areia é um importante indicador do perfil socioeconômico de desenvolvimento de um país, estado ou região metropolitana. O que mais chama a atenção no setor de agregados é o fato de estar diretamente ligado à qualidade de vida da população tais como: a construção de moradias, armazéns para os programas de abastecimento voltados para alimentação, saúde e saneamento básico (onde estão incluídos os sistemas de captação, adução, tratamento e distribuição de água e esgoto), educação, transporte (pavimentação e construção de rodovias, vias públicas, ferrovias, hidrovias, portos, aeroportos, pontes, viadutos, pátios e estações) entre outros (SILVA, 2012).

O desenvolvimento de uma sociedade está diretamente ligado à indústria da construção civil, pois esta fornece condições básicas para a população obter uma vida digna e de qualidade (FERNANDES, 2007 apud BAREA, 2013).

1.1 JUSTIFICATIVA

A Região Metropolitana do Recife apresenta-se como o principal polo populacional e econômico do Estado de Pernambuco. Segundo dados do IBGE (2010), a região engloba 14 municípios que, juntos, ocupam uma área total de 2.768 km², a população da chamada Grande Recife é de 3,9 milhões de habitantes que geram um PIB de R\$ 76 bilhões. Bezerra (2012) afirma que essa região experimenta, nos últimos anos, um forte crescimento econômico que amplia a ocupação dos espaços territoriais e a demanda por bens e matérias primas diversas.

A dieta mineral é ativada pela demanda da construção civil, exigindo a abertura de novas minas ou a importação de produtos *in natura* ou industrializados de outras regiões do país (BEZERRA, 2012).

Devido ao grande consumo de areia pela indústria da construção civil no mundo, torna-se cada vez mais importante e necessário a instalação de novas minerações neste setor. Estas devem ser localizadas, de preferência, o mais próximo possível dos grandes centros urbanos, pois os mesmos são os maiores consumidores deste produto.

Este trabalho faz um estudo para determinar a viabilidade técnica e econômica de uma jazida para lavra de areia para construção civil, que está dentro das características citadas acima, ou seja, na cidade de Igarassu, região metropolitana do Recife-PE, que é um grande centro urbano.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Explorar uma jazida de areia localizada à noroeste da cidade de Igarassu-PE, pertencente a uma mineração local, através de levantamentos geológicos e topográficos, sondagens, análises químicas e físicas, com o intuito de analisar a viabilidade desta areia para emprego como agregado para construção civil. Realizar a modelagem geológica deste corpo mineral, através do software Datamine Studio 3.0, avaliando assim o seu potencial, em termos de volume, e a possibilidade da lavra deste depósito. Por fim, fornecer subsídios para a elaboração de um projeto de uma mineração com uma unidade de classificação da areia, de referência, e a sua viabilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as características da areia a ser lavrada e correlacionar com seu possível uso como material para construção civil;
- Efetuar a Modelagem Geológica da jazida.
- Avaliar o potencial da jazida, sua dimensão e a viabilidade da lavra;
- Fornecer subsídios para um projeto de um empreendimento mineiro: lavra e beneficiamento;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DE AREIA

Segundo a Norma Brasileira 9935 (2011) da Associação Brasileira de Normas técnicas, a areia é um agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou proveniente de outros processos industriais.

Bauer (1995), do ponto de vista geológico, define areia como um sedimento clástico inconsolidado de grãos em geral quartzosos de diâmetros entre 0,06 e 2,00 mm.

Entretanto, materiais decompostos e mantidos *in situ* (manto de alteração de pedreiras), que não sofreram qualquer tipo de transporte também são areia. O transporte, por sua vez, pode ser fluvial e eólico. Este último traz para os grãos elevado grau de arredondamento. Isto é muito bom porque aumenta a trabalhabilidade da argamassa ou concreto, embora piore a aderência dos grãos à pasta (ALMEIDA & LUZ, 2012).

A norma NBR 7225 da ABNT, que fala sobre Materiais de Pedra e Agregados Naturais, classifica a areia em três produtos diferentes:

- Areia grossa, -2+1,2 mm;
- Areia média, -1,2+0,42 mm;
- Areia fina, -0,42+0,075 mm.

Enquanto que a norma NBR 7211, que fala à respeito do Agregado para Concreto, apresenta quatro tipos diferentes de areia:

- Areia grossa;
- Areia média;
- Areia fina;
- Areia muito fina.

As definições para areia, apresentadas por cada norma, divergem uma da outra. Além disso, a norma NBR 7225 considera a areia como um material

puramente natural, ao mesmo tempo que a NBR 7211 inclui as areias provenientes da britagem. De um modo geral, não existe correspondência entre as duas normas. A NBR 7225 considera o tamanho máximo de 2 mm, ao passo que a NBR 7211 admite de 5 a 12% de partículas acima de 4,8 mm (CHAVES & WHITAKER, 2012).

De acordo com Chaves e Whitaker (2012), os fatores mais importantes que devem ser levados em consideração na hora de definir areia, principalmente para uso na construção civil, são: a distribuição granulométrica, a forma dos grãos e a composição mineralógica.

2.2 TIPOS DE DEPÓSITOS DE AREIA

A areia é extraída de leito de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. No Brasil, cerca de 70% da areia é produzida em leito de rios (QUARESMA, 2009).

De acordo com Bueno (2010), os principais ambientes geológicos onde é extraída a areia para construção civil são:

- Leitos de rios;
- Planícies costeiras;
- Planícies e terraços aluviais de fundos de vale (pretéritos);
- Coberturas de morros constituídas por formações sedimentares arenosas mais antigas;
- Coberturas de morros com mantos de alteração de rochas quartzosas.

2.3 USOS E DESTINAÇÃO DA AREIA

Segundo o site da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (2015), o consumo de areia está dividido em

vários segmentos da construção civil. Estes segmentos estão na base dos ramos de edificações e de construção pesada, que constituem a formação de moradias e infraestrutura do país. A Tabela 1 apresenta estes principais segmentos e a participação de cada um deles.

Tabela 1 – Participação por uso de Areia.

SEGMENTO	PARTICIPAÇÃO (%)
Concreteira	20
Construtora	15
Pré-fabricados	10
Revendedor	10
Usina de Asfalto	5
Argamassas	35
Órgãos Públicos	3
Outros	2

Fonte: ANEPAC, 2014.

2.4 MÉTODOS DE LAVRA E BENEFICIAMENTO DA AREIA

Um dos fatores mais importantes no planejamento da lavra é a natureza de operação, se a seco ou a úmido, pois algumas operações de lavra são aplicáveis apenas a úmido ou a seco e em alguns casos podem ocorrer as duas formas. Os métodos de lavra empregados na extração de areia são basicamente três e dependem da natureza do depósito que está sendo lavrado, de suas características intrínsecas, da região onde ele se encontra, das suas condições de planejamento e reabilitação ambiental e da escala de produção (SIMITH & COLLIS, 2001). O Quadro 1 apresenta uma correlação entre as formas de ocorrência de areias e os métodos mais usuais empregados para sua extração.

FORMA DE OCORRÊNCIA	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO
Não coesa, encontrada nos leitos de rios atuais.	Dragagem
Não coesa, encontrada nas planícies e terraços aluviais.	Desmonte Hidráulico ou Dragagem
Não coesa, encontrada em dunas litorâneas.	Desmonte Mecânico
Areia consolidada na forma de arenitos ou quartzitos, formando platôs, com escarpas.	

Quadro 1 – Forma de ocorrências e métodos de extração.
Fonte: ANEPAC, 2014.

A seguir são apresentadas as características básicas de cada um destes três métodos.

2.4.1 Desmonte hidráulico

O desmonte hidráulico é frequentemente utilizado em depósitos horizontais e sub-horizontais que possuem matérias primas minerais com grandes quantidades de areia de quartzo, que desagrega-se facilmente, e em regiões onde haja uma alta disponibilidade de água (PISSATO, 2009).

Quaresma (2009) afirma que o desmonte hidráulico consiste na aplicação de um jato de água, através de um monitor, que o direciona sobre o talude a ser desmontado, fazendo com que uma polpa (composta por cerca de 15% em massa de material sólido) se forme e seja carregada pela ação da gravidade. Neste tipo de desmonte, a altura das bancadas não devem ultrapassar os 20 metros. Para facilitar o direcionamento do transporte da polpa, originada na superfície dos taludes, canaletas podem ser instaladas, assim como mais de um monitor na frente de lavra, a qual assume formas irregulares de avanço.

Segundo o autor, a polpa converge para um ponto na parte inferior da bancada e posteriormente é succionada por uma draga, que a transfere para as etapas seguintes de tratamento.

Almeida (2002) diz que o tratamento busca primeiramente separar a areia dos outros materiais, realizando na maioria das vezes, uma classificação granulométrica que separa as frações finas e as frações mais grosseiras, do material desejado. Em algumas situações, o tratamento pode incluir apenas um peneiramento grosseiro em peneira estática e a decantação em tanques para eliminação do material argiloso em um ou mais estágios.

A autora relata também que depois de passar por um processo de clarificação natural, nas bacias de decantação, a água resultante destas bacias é reaproveitada e reconduzida em circuito fechado, voltando a fazer parte das etapas do processo produtivo. A medida que vão secando, os tanques de decantação vão produzindo uma camada de solo propícia a revegetação.

Esta forma de minerar exibe algumas vantagens quando comparada com o método de demonte mecânico, tais como baixo investimento inicial e alta produção e recuperação na lavra, no entanto apresenta como desvantagens a baixa seletividade, a alta diluição da polpa nas bacias de acumulação, a grande necessidade de água e a limitação à depósitos inconsolidados (PISSATO, 2009).

A Figura 1, abaixo, apresenta um resumo das principais etapas e operações realizadas neste tipo de demonte.

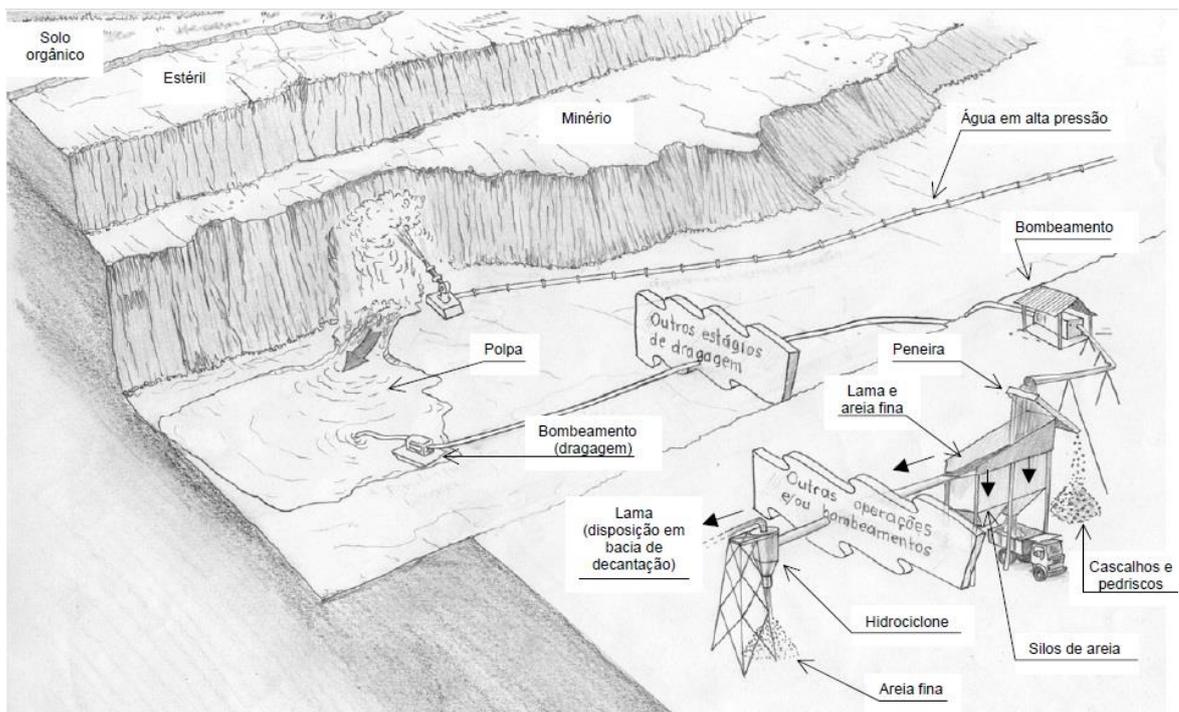


Figura 1 – Lavra pelo método de Desmonte Hidráulico.
Fonte: IPT, 2002.

2.4.2 Dragagem

De acordo com Almeida (2002), a dragagem de areia (Figura 2) se dá sobre as camadas de sedimentos arenosos que se encontram em leitos submersos de diversos tipos de reservatórios de água. Geralmente esses depósitos possuem uma espessura que varia desde poucos metros a dezenas de metros.

A autora também relata que a retirada do material ocorre através de um sistema de bombeamento que realiza a sucção da polpa originada a partir da superfície de ataque do leito submerso. A polpa é conduzida por meio de uma tubulação que atinge o ponto de sucção no fundo da água.

Segundo Quaresma (2009), o sistema de bombeamento deste método de desmonte pode ser montado sobre dois tipos de barcaças:

- barcaça móvel, que se desloca por autopropulsão ou com auxílio de um barco reboque, realizando o transporte do minério;
- barcaça com ancoragem fixa, com o minério sendo transportado por tubulação sustentada sobre tambores flutuantes.

Quanto a forma de extração do minério, o autor afirma que, dependendo do local onde a extração é realizada (em leitos de rio ou em lagos), duas possibilidades podem ocorrer:

- Na primeira, a areia (polpa areia+água) do leito do curso d'água é succionada por uma draga semi-estacionária flutuante, equipada com um conjunto moto-bomba, e em seguida bombeada para o beneficiamento através de tubulações. O deslocamento da draga no leito do curso d'água é realizado por cabos de aço fixados nas margens;
- Na segunda possibilidade, a areia é succionada de dentro dos compartimentos de um barco (batelão), por uma draga estacionária que está embarcada nele, e bombeada para o beneficiamento através de tubulações. O batelão navega até o ponto de extração da polpa e retorna para o porto com seus compartimentos cheios para serem descarregados pela draga estacionária.

Com relação às vantagens deste método, o autor relata que a dragagem apresenta uma alta produtividade, se comparada com outras formas de extração, além de um baixo custo operacional e uma boa recuperação. Mas ao mesmo tempo, afirma que este método extrativo requer uma considerável quantidade de água, aliada a uma boa desagregação do material a ser desmontado, bem como uma alta diluição da polpa originada e uma baixa seletividade na lavra.

O autor conclui dizendo que este método de desmonte também pode ser aplicado na extração em área de várzea, com circuito em cava fechada. Nesse tipo de extração, a água juntamente com as partículas finas retornam para uma lagoa em circuito fechado e sem ligação direta com os cursos d'água. As dragas de sucção são inseridas quando o nível do lençol freático é atingido, a areia e o cascalho são conduzidos para os locais de estocagem, onde acontece a drenagem natural, já as partículas finas e a água, são direcionadas de volta para a lagoa ou para uma lagoa de decantação de finos através de canaletas e/ou canais coletores.

As operações de tratamento para este tipo de desmonte são similares às utilizadas no método de desmonte hidráulico (ALMEIDA, 2002).

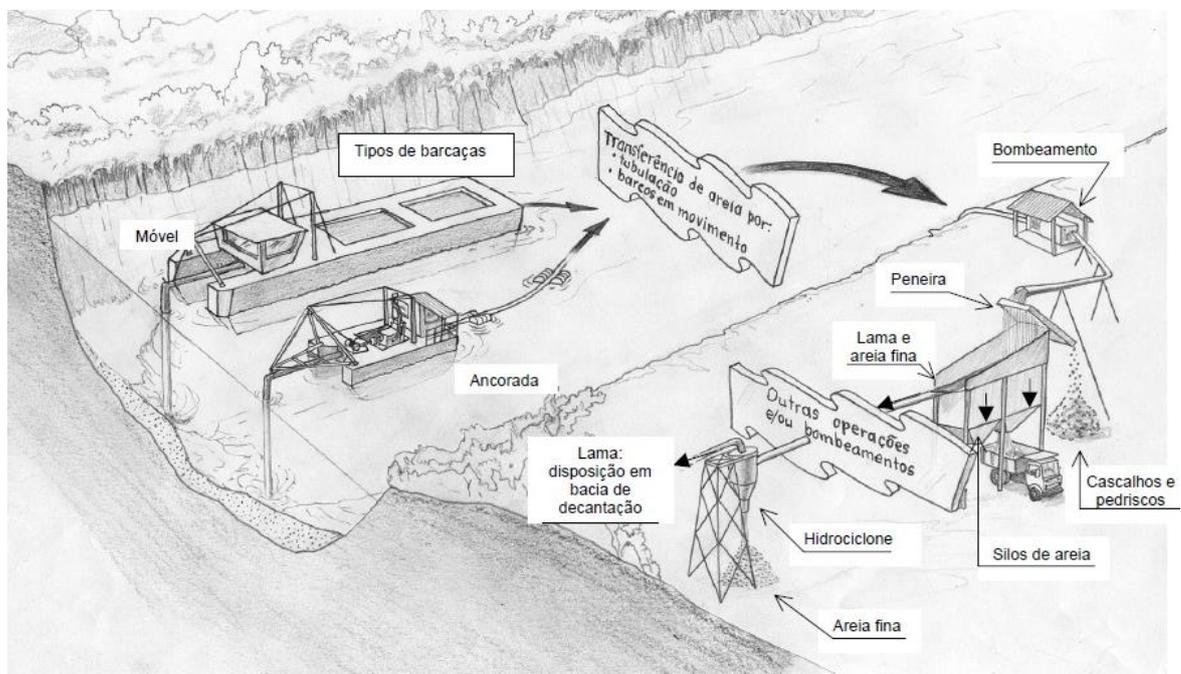


Figura 2 – Lavra pelo método da Dragagem.
Fonte: IPT, 2002.

2.4.3 Desmonte mecânico

Dos três métodos de desmonte apresentados neste trabalho, o desmonte mecânico, Figura 3, é o método mais simples. Indicado para depósitos não inundados (secos), onde a superfície apresenta boa sustentação para equipamentos pesados de escavação e transporte, o desmonte mecânico consiste basicamente da escavação mecânica direta do minério através de escavadeiras, pás-carregadeiras, tratores e posterior carregamento em equipamentos de transporte, como por exemplo, os caminhões basculantes. Estes, por sua vez, transportam o material desmontado para a planta de beneficiamento (para tratamento) ou levam o material direto para as pilhas de estocagem ou ainda a areia segue direto para a comercialização nas lojas (SILVA, 2012).



*Figura 3 – Lavra pelo método de Desmonte Mecânico.
Fonte: www.google.com.br/imghp, 2015.*

2.4.4 Carregamento e Transporte de Areia

A areia produzida nas minerações é transportada diretamente dos silos de areia e segue para os caminhões ou para os pátios de estocagem, com a ajuda do uso de pás carregadeiras. Os caminhões utilizados no transporte da areia para o mercado consumidor possuem caçambas com capacidades que variam de 10 a 20 metros cúbicos. A distância média entre os portos de areia e os centros consumidores é de cerca de 100 quilômetros (FERREIRA & FONSECA JÚNIOR, 2012). Em algumas situações, a areia é transportada por barco ou por trem.

2.4.5 Beneficiamento da Areia

O beneficiamento da areia é relativamente simples, se comparados com o de outras substâncias minerais. Ele consiste no desagregamento das partículas e na remoção de impurezas finas (lavagem e desagregação), na classificação granulométrica (peneiramento) e no desaguamento ou deslamagem (secagem), que separam granulometricamente as frações interessantes aos setores de aplicação (ALMEIDA & LUZ, 2012).

Um dos principais objetivos do beneficiamento da areia para construção civil é assegurar que cerca de 95% da massa do material resultante se enquadre na faixa granulométrica - 4,8 mm + 0,075 mm (QUARESMA, 2009).

A seguir, serão apresentadas as principais etapas do beneficiamento de areia e os equipamentos utilizados em cada uma delas.

2.4.5.1 Lavagem e Desagregação

Chaves e Whitaker (2012) declaram que a lavagem e a desagregação da areia devem ser as primeiras operações a serem realizadas em um fluxograma. Segundo eles, estas operações de beneficiamento são fundamentais nas cavas secas, ou seja, nos depósitos onde ocorre o desmonte hidráulico. Já nas minas operadas por dragagem, os autores afirmam que estas etapas não tem muita importância. Os equipamentos utilizados nestas operações são descritos a seguir:

O *log washer*, apresentado na Figura 4, é uma espécie de tanque que possui dois eixos giratórios, nos quais estão presas várias palhetas que, ao girarem, batem e agitam a polpa intensamente. Através do movimento das palhetas, a areia que entra pela parte inferior do tanque é transportada até a parte de cima do equipamento. Ao se movimentarem entre as palhetas, as partículas inconsolidadas se desagregam e a cobertura de argila é removida, devido ao intenso atrito superficial e aos impactos sofridos. Após atravessarem todo o equipamento, as partículas sólidas são descarregadas como um *underflow*, ao passo que a lama gerada transborda como um *overflow* (CHAVES & WHITAKER, 2012).



Figura 4 – Log Washer.
Fonte: www.trioproducts.com, 2015.

O scrubber, Figura 5, é um tambor giratório de aço inoxidável que possui várias aletas em seu interior, cuja função é elevar e despencar as partículas. Seu funcionamento se assemelha ao de um moinho de bolas, somando-se a lavagem convencional e o peneiramento rotativo. O giro do tambor faz com que o material caia sobre a polpa, que se encontra no fundo do tambor, provocando uma intensa atrição das partículas sólidas e desagregação das coberturas de lama. Como resultado o material alimentado é desagregado e a areia liberada. Na descarga do aparelho é colocada uma peneira para separar as partículas grosseiras limpas, da lama. Muitos aparelhos têm injeção de jatos d'água, sob pressão, para ajudar a desagregação. Na peneira, outros jatos d'água completam a lavagem (CHAVES & WHITAKER, 2012)

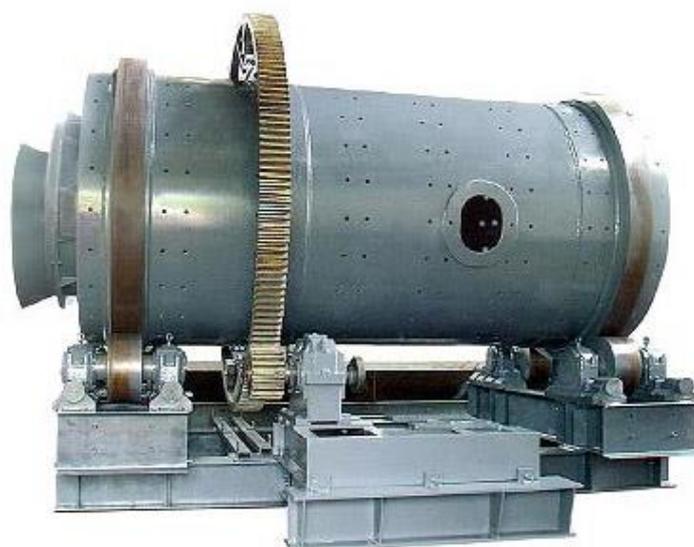


Figura 5– Scrubber.

Fonte: www.durgametals.com/drum-scrubber.htm, 2015.

O lavador de rosca, mostrado na Figura 6, destina-se à lavagem e desaguamento de partículas finas, de granulometria abaixo de 10 mm (3/8"). Ele é empregado com sucesso para a remoção de superfinos prejudiciais à preparação de concreto e argamassa. O equipamento é composto de um tanque de decantação, o qual possui uma ou duas roscas que giram dentro dele, fazendo com que as partículas mais densas se precipitem, sejam retiradas e transportadas. As partículas mais finas ficam em suspensão na água, devido à

agitação ou turbulência provocadas pela injeção de águas inferiores, pelo movimento rotacional da hélice e pela própria alimentação. Estes finos são removidos juntos com a água por transbordamento, sendo a mesma coletada por calhas laterais e direcionada para o duto de rejeito, situado na parte traseira da máquina (METSU, 2005).



*Figura 6 – Lavador de Rosca.
Fonte: www.maqbrit.com.br/lavador_rosca.html, 2015.*

2.4.5.2 Peneiramento

O peneiramento da areia é uma operação fundamental na produção deste material, uma vez que na jazida ela se apresenta em diversas granulometrias. Para tal operação, são utilizadas peneiras de elevada frequência, com diversas formas de movimento, tais como: circular, vertical e horizontal. Além disso, a relação entre frequência, amplitude do movimento vibratório e a malha de peneiramento devem ser relacionadas, pois conforme a malha da peneira diminui a frequência de vibração aumenta e a amplitude também diminui. A Figura 7 mostra uma peneira vibratória horizontal com dois *decks* (CHAVES & WHITAKER, 2012).

As peneiras horizontais são usadas principalmente para classificação em via seca ou úmida. Por ser horizontal, não há carregamento de água com o

material retido e a menor velocidade permite maior tempo de residência, melhorando a eficiência de classificação, condição apropriada para malhas mais finas. Usam movimentos lineares, o que requer duas linhas de vibradores para gerar este movimento, tornando-as mais caras que as peneiras inclinadas. Possuem maior tendência ao entupimento, quando comparadas com as peneiras de movimento circular. São usadas também para peneiramento convencional quando há limitação de altura, caso típico de conjuntos móveis. Nestes casos, é preciso levar em consideração a limitação na abertura máxima da tela, usualmente ao redor de 65 mm (2 ½”) (BOSCARATO, 2006).



Figura 7 – Peneira Vibratória Horizontal.

Fonte: www.peneiravibratoria.blogspot.com.br/2012/11/peneira-vibratoria.html, 2015.

2.4.5.3 Classificação e Deslamagem

A classificação e a deslamagem são processos que ocorrem a úmido. A deslamagem trata da retirada das lamas indesejáveis para as operações posteriores ou para a qualidade do material resultante. Geralmente são utilizados dois equipamentos para estas operações: os classificadores espirais e os hidrociclones (CHAVES & WHITAKER, 2012).

O classificador espiral, Figura 8, consiste de um tanque, que possui uma espiral em seu interior, a qual gira, agitando a polpa (água + areia) e a mantendo-a em suspensão. A densidade e viscosidade da polpa dependem da proporção de sólidos e água. O classificador é alimentado pelas partículas sólidas e as mesmas decantam ou não na polpa. As partículas que precipitam são arrastadas para parte superior do tanque com o auxílio da espiral. As que ficam suspensas na polpa, transbordam do equipamento (CHAVES, 2004).

Os classificadores espirais são fabricados em diferentes tamanhos, o que lhes dá uma faixa de capacidades muito ampla (desde cerca de 60 até cerca de 1.720 t/h de lama eliminada pelo overflow). A faixa de separação (d95) vai de cerca de 800 μm a 74 μm (CHAVES, 2004).



Figura 8 – Classificador Espiral.

Fonte: www.ore-beneficiation.com.br/2-3-spiral-classifier.html, 2015.

Os hidrociclones, Figura 9, consistem de uma câmara cilíndrica com o fundo cônico na qual o material é alimentado tangencialmente e classificado em dois produtos, o fino no *overflow* e o material mais grosso no *underflow*. A parte inferior do equipamento é conhecida como *apex* e a superior *vortex finder*. Como entra de forma tangencial, a polpa cria um movimento rotacional no interior do equipamento, semelhante a um redemoinho (CHAVES & WHITAKER, 2012).

De acordo com Chaves e Whitaker (2012), os classificadores espirais possuem uma maior eficiência de classificação (85 a 90 %) do que os ciclones (60 a 70 %).



Figura 9 – Ciclone.

Fonte: www.ore-beneficiation.com.br/2-3-spiral-classifier.html, 2015.

2.5 ASPECTOS AMBIENTAIS DA LAVRA DE AREIA

Embora a Resolução CONOMA nº 369 (2006) considere a atividade de extração de areia para construção civil como de interesse social, esta atividade gera problemas ambientais e de conflito com as comunidades vizinhas, particularmente em regiões que ainda não fizeram o seu ordenamento territorial. Dentre os principais impactos ambientais causados pela extração de areia, pode-se citar: a geração de efluentes com particulados nos rios, as cavas inundadas com alteração do nível freático, a alteração paisagística, o desmatamento, a

emissão de particulados atmosféricos oriundos da circulação de caminhões fora de estrada e o barulho provocado pelas máquinas (QUARESMA, 2009).

A lavra de areia em cavas inundadas provoca alterações significativas na paisagem e a destruição da camada de solo vegetal, dando origem à cavas enormes, que podem chegar a 300 metros de comprimento, 50 de largura e 5 de profundidade. Além disso, esta prática deixa um passivo ambiental que normalmente não é recuperado (ALMEIDA & LUZ, 2012).

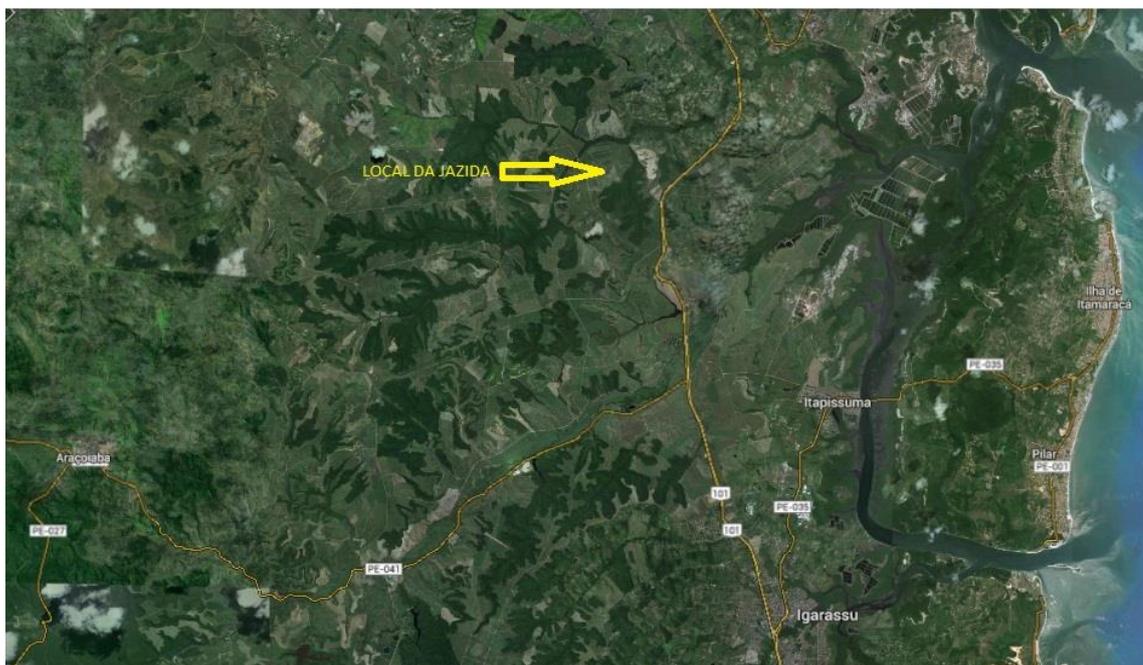
Outro fator grave e preocupante é que as empresas de mineração, ao realizarem a retirada da areia abaixo do nível do lençol freático, acabam contaminando a água por óleo liberado pelas dragas, lixo, entulhos e etc, além de contribuir para a ploriferação de insetos. Muitas comunidades que vivem próximas às áreas de mineração de areia, principalmente as de baixa renda, não possuem saneamento básico e para obterem água, acabam recorrendo à perfuração de poços rasos no local, consumindo água contaminada pelas mineradoras (PFALTZGRAFF, 1994).

A reabilitação de áreas mineradas em um conceito mais amplo da mineração não é visto apenas do ponto de vista de proteção ambiental e conservação, mas como parte do planejamento financeiro e viabilidade do projeto de produção de agregado, considerando os aspectos – econômico, social e ambiental. Dependendo do tipo de depósito lavrado, a topografia, hidrogeologia e cavas podem ser reabilitadas para agricultura, parque aquático para lazer e etc (SIMITH & COLLIS, 2001).

3 DADOS SOBRE O LOCAL DA JAZIDA

3.1 LOCALIZAÇÃO

A jazida se encontra às margens da BR 101, no município de Igarassu, que se localiza na região metropolitana do Recife, capital do estado de Pernambuco. O município de Igarassu faz divisa a norte com Goiana, a sul com Paulista e Abreu e Lima, a leste com Itamaracá, Itapissuma e o Oceano Atlântico e a oeste com Tracunhaém e Araçoiaba. A Figura 10, abaixo, mostra a localização exata da jazida.



*Figura 10 – Localização da jazida.
Fonte: www.google.com.br/maps, 2014.*

A unidade territorial de Igarassu possui uma área de 305.560 km², o que representa 0,33% do Estado de Pernambuco. O município está localizado geograficamente a uma latitude de 7° 50' 00" sul e a uma longitude de 34° 54' 30" oeste, com uma altitude de aproximadamente 19 metros. A distância da cidade

para a capital é de 32,3 km e o acesso se dá através das rodovias pavimentadas BR 101 e PE 035 (BELTRÃO et al, 2005).

A seguir, é apresentado na Figura 11, um mapa com os acessos à Igarassu.

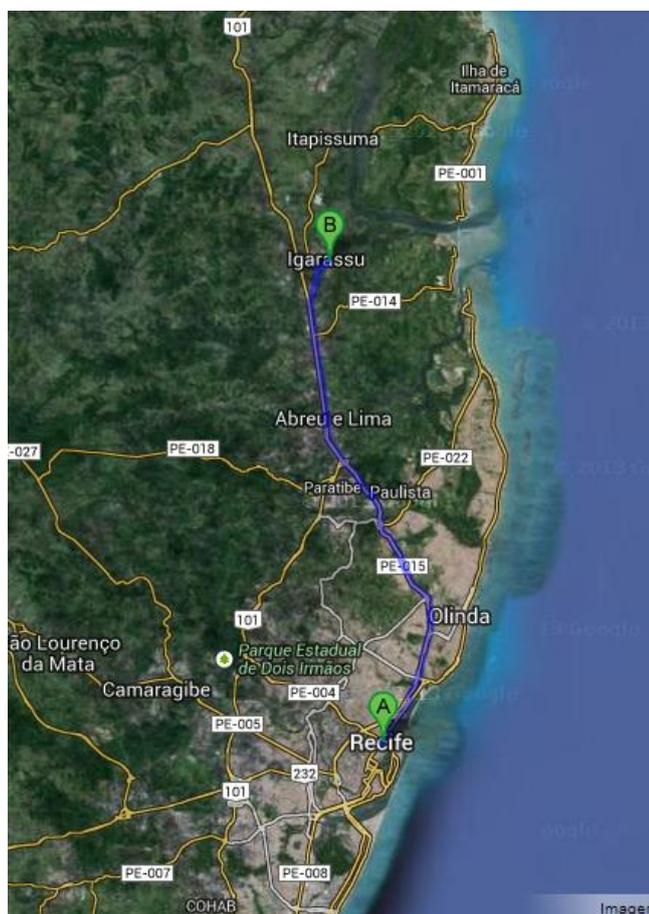
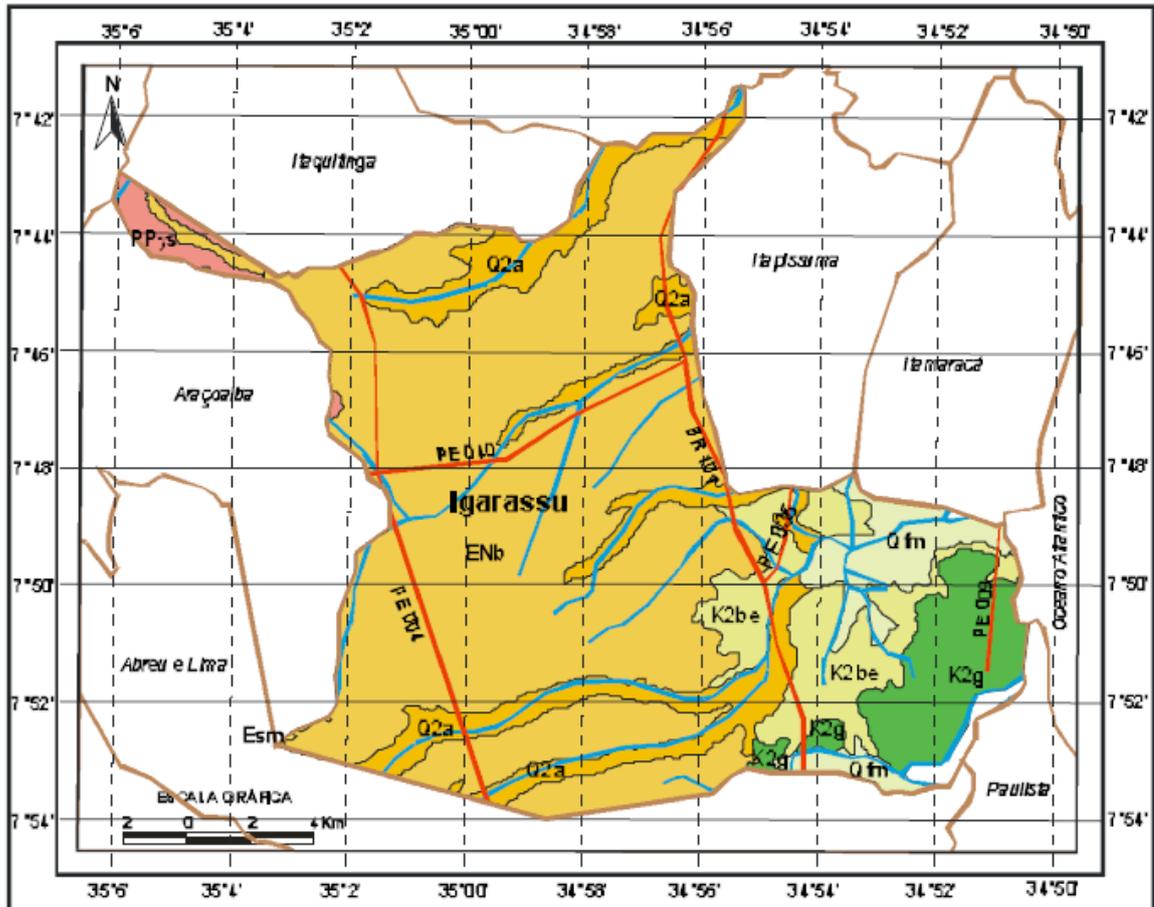


Figura 11 – Mapa com acessos à Igarassu.
Fonte: www.google.com.br/maps, 2014.

3.2 GEOLOGIA

O município de Igarassu encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído do Complexo Salgadinho e dos sedimentos das formações Beberibe e Gramame, do Grupo Barreiras e dos Depósitos Flúvio-marinhos e Aluvionares (BELTRÃO et al., 2005). A Figura 12 mostra o mapa geológico da cidade, com suas unidades litoestratigráficas.



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Cenozóico

Q2a Depósitos aluvionares (a): areia, cascalhos e níveis de argila.

Qfm Depósitos flúvio-marinhos (fm): depósitos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-lagulares e litorâneos.

ENb Grupo barreiras (b): arenito e conglomerado, intercalções de siltito e argilito.

Mesozóico

K2g Formação Gramame (g): calcário margoso, fosforito na base (marinho raso).

K2be Formação Beberibe (be): arenito mal selecionado, arenito calcífero (fluvial entrelaçado e transicional)

Paleoproterozóico

PPjs Complexo Salgadinho: ortogneisse tonalítico a granítico

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

☐ Contato geológico

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

⊙ Sede Municipal

— Rodovias

--- Limites Intermunicipais

~ Rios e riachos

Figura 12 – Mapa geológico de Igarassu-PE.
Fonte: CPRM, 2005.

4 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi dividida em quatro etapas principais: observações de campo efetuadas através de visitas técnicas ao local da jazida; levantamentos de dados e informações referentes à exploração da areia; exploração mineral e realização de ensaios de laboratório para caracterização do material.

- 1ª Etapa – Observações de campo: conhecimento preliminar da área com observação dos elementos presentes na mesma e em seu entorno.
- 2ª Etapa – Levantamentos de dados: levantamentos de bibliografias sobre minerações de areia de forma genérica, para entendimento dos métodos de lavra, principais impactos ambientais e medidas de controle ambiental, questões socioeconômicas, de normas técnicas e de legislações federais, estaduais e municipais.
- 3ª Etapa – Exploração mineral: levantamentos geológicos pormenorizados da área, levantamento topográfico de superfície (localização da poligonal requerida e marcação dos pontos de sondagem através de um aparelho de GPS de precisão e Estação Total), estudos dos afloramentos e suas correlações; abertura de escavações utilizando escavadeira hidráulica, sondagens rotativas no corpo mineral e amostragens sistemáticas.
- 4ª Etapa – Ensaios de laboratório: análises físicas e químicas das amostras e dos testemunhos de sondagens; ensaios de beneficiamento do material para obtenção de concentrados de acordo com as especificações do mercado; análise dos resultados obtidos e elaboração do relatório final do diagnóstico.

4.1 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO

O termo levantamento geológico designa genericamente as atividades de cartografia geológica ou mapeamento geológico. O seu propósito básico é estabelecer a natureza, a forma tridimensional, a posição espacial, a origem, a idade, a evolução, e a importância regional ou global dos corpos rochosos (LADEIRA, 2009).

O levantamento da jazida de areia se deu de forma simples e objetiva, fazendo-se uso das ferramentas necessárias para tal, tais como: caderneta de campo, câmeras fotográficas, imagens de satélite, etc.

O local da jazida foi percorrido e avaliado por técnicos especializados, que recolheram amostras da areia para análise do material e realizaram anotações pertinentes sobre a mesma. Além disso, foram extraídas imagens tanto terrestres como aéreas (satélite) para avaliação da jazida.

4.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Segundo o *site* da Superfície Geomática (2015), o levantamento topográfico consiste na determinação da altimetria e planimetria do conjunto de pontos notáveis existentes na jazida. Com recurso a instrumentos, técnicas e métodos específicos que permitem a sua posterior representação gráfica em planta com o nível de detalhe pretendido, regista-se tanto o relevo natural como artificial da mesma.

Na jazida, o levantamento topográfico consistiu na localização da Poligonal requerida e marcação dos pontos de sondagem através de GPS de precisão e Estação Total.

4.3 SONDAGEM

Segundo o Grupo de Pesquisa Mineral do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (2012), a sondagem é a culminação dos processos de prospecção mineral, ela fornece a maior parte das informações para a avaliação final de um prospecto e, em última análise, determina se o prospecto é uma jazida mineral (passivo de se tornar uma mina). As amostras coletadas são cuidadosamente selecionadas e ajudam a delinear a geometria do depósito mineral, calcular seu volume e fornecer importantes detalhes estruturais.

Foram realizados 19 furos de sondagem com uma profundidade variando entre 12 e 24 m, utilizando-se uma perfuratriz rotativa com uma broca de 2" de diâmetro. Dos 19 furos, foram selecionados 16, devido aos furos de número 4, 9 e 17 não apresentarem resultados satisfatórios: o primeiro, após 4 metros de profundidade, apresentou uma camada de arenito compactado, no segundo não se encontrou areia e o furo 17 só atingiu a camada do arenito compactado. Foram coletadas amostras destes 16 furos selecionados para caracterização granulométrica e mineral. A localização dos furos de sondagem são apresentados na Figura 13. A Figura 14 mostra a perfuratriz em operação.



*Figura 13 – Furos de sondagem.
Fonte: www.google.com.br/maps, 2014.*



Figura 14 – Equipamento realizando o trabalho de sondagem.
 Fonte: Lira, B. B., 2014.

No Quadro 2, são apresentados os trabalhos realizados no local da jazida e os equipamentos utilizados para realização dos mesmos.

TRABALHO	EQUIPAMENTO
Levantamento Geológico.	Caderneta de campo; Câmeras fotográficas; Imagens de satélite.
Levantamento Topográfico.	Estação total; GPS de precisão;
Abertura de Escavações Visitáveis, Execução de Sondagens no Corpo Mineral e Amostragens Sistemáticas.	Escavadeira hidráulica; Perfuratriz Rotativa com broca de 2”.

Quadro 2 – Resumo das atividades realizadas em campo e os respectivos equipamentos.

4.4 CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE

A caracterização é uma etapa fundamental para o aproveitamento da areia, de forma otimizada, pois fornece os subsídios mineralógicos e texturais necessários ao correto dimensionamento da rota de processo, ou permite identificar etapas do processamento cuja correção melhora o seu rendimento global (NEUMANN; SCHNEIDER; ALCOVER NETO, 2002).

Parte de uma amostra de areia que de modo geral, representa a jazida analisada como um todo, foi enviada para o Laboratório de Análises de Materiais e Estruturas-LABEME do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECA da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Ela foi submetida às análises para verificação de massa unitária, do volume de vazios, massa específica, distribuição granulométrica e teor de matéria orgânica.

Utilizaram-se as normas, ABNT NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, ABNT NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da composição granulométrica e DNER-ME 055/95 – Areia – Determinação de impurezas orgânicas. A Figura 15, abaixo, exhibe a areia sendo quarteada no laboratório.



*Figura 15 – Amostra da areia da jazida sendo quarteada.
Fonte: Lira, B. B., 2014.*

4.5 ANÁLISE QUÍMICA SEMI-QUANTITATIVA

A fluorescência de raios-X é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra. Nela, uma fonte de radiação de elevada energia (radiação gama ou radiação X) provoca a excitação dos átomos da substância que se pretende analisar (ANDRADE, 2012).

Outra parcela da amostra da areia da jazida em forma de pó, que representa a jazida como um todo, com granulometria abaixo de 200 mesh, foi enviada para o NEG LABISE – Núcleo de Estudos Geoquímicos e Laboratório de Isótopos Estáveis da UFPE – Universidade Federal de Pernambuco.

A amostra foi secada em estufa a 100 °C. Uma porção da amostra seca foi colocada em uma mufla a 1000°C por 2 horas, para determinação de perda ao fogo. Uma porção da amostra seca foi colocada em uma cápsula de alumínio e prensada em uma prensa hidráulica com 25 toneladas de força. Na pastilha prensada foi feita a análise química semi-quantitativa de elementos pesados e alguns leves. O valor da perda ao fogo foi adicionado aos resultados da varredura que foram então recalculados para 100%. A análise química foi realizada usando um espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku, modelo RIX 3000, equipado com tubo de Rh e 6 cristais analisadores.

4.6 ANÁLISE DE DRX

A difração de raios X é uma técnica indicada para determinar as fases cristalinas presentes em diversos materiais, dentre eles os minerais. Isso acontece porque os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos da onda dos raios X. Quando se incide um feixe de raios X em um cristal, o mesmo interage

com os átomos presentes, gerando o fenômeno de difração de raios X. Ela ocorre segundo a Lei de Bragg, a qual estabelece a relação entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina) (ALBERS et al, 2002).

Uma fração da amostra da areia que representa a jazida como um todo foi submetida à fragmentação em um pilão de porcelana e em seguida peneirada em uma peneira com abertura de 200 mesh. Depois disso, uma quantidade de 10 g do material passante pela peneira foi enviada para o LTM – Laboratório de Tecnologia Mineral da UFPE – Universidade Federal de Pernambuco.

A análise de DRX foi realizada no equipamento Bruker D2 PHASER. Operando com voltagem de 30 kV e corrente de 10 mA, com irradiação de $\text{Cu-K}\alpha_1 = 1.54060 \text{ \AA}$ e usando o detector Bruker-Lynxeye. A faixa de leitura foi de 2θ : 4 – 80°; passo: 0,0202°/s; tempo de contagem por passo: 0,5 s; fenda na saída dos raios x: 0,4 mm, rotação da amostra: 20 rpm.

Para a indexação foi usado o aplicativo DIFRAC.EVA_Bruker com o banco de dados COD - Crystallography Open Dates.

4.7 MODELAGEM GEOLÓGICA

A modelagem geológica da jazida foi realizada através do *software* DATAMINE STUDIO 3.0. Esta ferramenta é fundamental na geração de um modelo tridimensional da jazida e muito importante no desenvolvimento dos cálculos dos volumes da mesma.

O DATAMINE proporciona um conjunto de comandos para entrada e manipulação de dados associados a um amplo nível de capacidades estatísticas, gráficas e de processamento especialmente para dados geológicos e de mineração. A sondagem em qualquer orientação e com variações de azimute e de inclinação, são facilmente manejados, neste caso podemos combinar dados com diferentes intervalos de amostra (GOPINATH *et al.*, 2003 apud BASTOS, 2013)

O *software* utiliza uma combinação de modelamento de *wireframes* (para superfícies, estruturas e etc.) e modelos de blocos para representar com exatidão estruturas geológicas e a variação de teores em uma jazida. As ferramentas para o modelamento de *wireframes* incluem um conjunto de algoritmos e operações booleanas que permitem combinar e dividir grupos de *wireframes*. Uma vez modeladas às estruturas, o DATAMINE pode converter as *wireframes* em um modelo de blocos e proporcionar um amplo número de métodos de interpolação, tanto estatístico, como geoestatístico, incluindo técnicas para o desdobramento de estruturas complexas (BASTOS, 2013).

As características da jazida mineral foram definidas a partir dos dados de sondagem (comprimento dos furos, descrição litológica dos furos, espessura das camadas) e topografia (coordenadas dos furos) obtidos em campo.

4.7.1 Análise e Tratamento dos Dados

Os dados de sondagem, tais como: comprimento do furo, cota do furo, localização, litologias foram condensadas em planilhas do *Microsoft Excel* no formato CSV, (separado por vírgulas), tais como: *Collars* (coordenadas x, y e z da boca dos furos), *Assays* (*logs* de sondagem com as litologias presentes).

Os arquivos foram importados para o DATAMINE e criados arquivos correspondentes que tem a forma de *collars.txt*, e *geology.txt*, no formato binário. Os arquivos de entrada foram agrupados e condensados em um só arquivo: *drillholles*.

O arquivo *drillholles* contém a posição e orientação de cada furo de sondagem e adicionalmente, informações de litologia em 3 dimensões.

4.7.2 Modelo Geológico em 3D

A partir da introdução dos dados de sondagens e topografia no *software* DATAMINE as ferramentas de modelamento geoestrutural permitiram a criação de um sólido representativo do corpo mineral e a construção das seções verticais do jazimento. Para representação do sólido foram elaboradas *strings* contendo informações sobre a areia baseadas nas seções verticais norte-sul e leste-oeste.

Essas poligonais foram usadas para confecção de uma malha triangulada, base para o modelo geológico.

A superfície pode ser modelada com uma malha triangulada de pontos. O termo técnico usado no *software* para definir esse tipo de modelo chama-se *wireframe*. A partir da interpretação geológica que resultou na criação das poligonais e após esta etapa partiu-se para malha triangulada (*wireframe*).

As *wireframes* da areia foram construídas a partir de *strings* que são ligadas furo a furo através de algoritmo de triangulação automática de poligonais (figura 16).

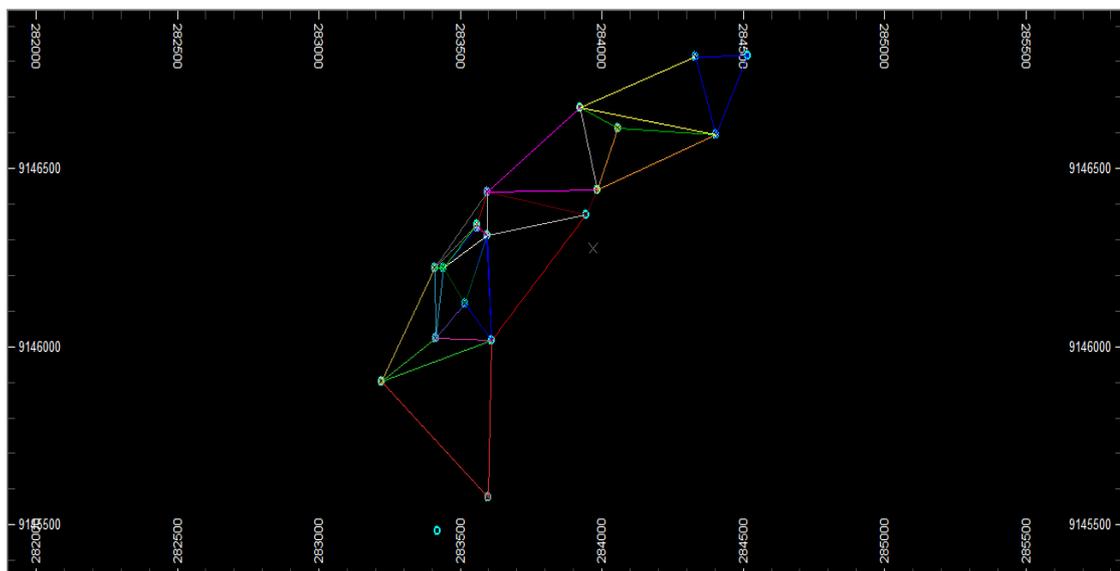


Figura 16 – Strings ligando os furos de sondagem.
Fonte: Autor, 2015.

O modelo de blocos foi criado a partir de blocos ou células retangulares, cada uma contendo informações sobre teor, tipo de rochas, grau de oxidação,

etc.. O tamanho dessas células foi definido pelo usuário e baseado em vários fatores como os afastamentos entre os furos, o método de lavra e as estruturas geológicas ao redor do corpo mineral.

A célula “mãe” é a maior célula permitida no modelo. O conceito de “célula mãe” é, em grande parte, um termo descritivo. O único produto visível, baseado nas dimensões da célula mãe, é a restrição ao tamanho máximo das células e o fato de que as células nunca devem ultrapassar as fronteiras da célula mãe (PORTER, 2005).

A modelagem de blocos é, sobretudo, uma aproximação dos volumes abaixo de uma topografia ou regiões especificadas dentro de um corpo 3D com as zonas mineralizadas. Em ambos os casos, as superfícies e os volumes 3D são usualmente definidos usando *wireframes*. Células são usadas pelo fato de que elas podem fornecer atributos a zonas específicas dentro da zona mineralizada. Como exemplo pode ser dado o teor de ouro orientado por um veio de quartzo que pode variar com a localização (PORTER, 2005).

As subcélulas permitem a você subdividir as “células mãe” em células menores para melhor se enquadrar à forma das *wireframes*. Quanto mais se permite partir as células, melhor é o ajuste. O truque é ajustar o nível de divisão das células para ter um ajuste razoável sem exceder o que é prático. As fronteiras geológicas são as melhores aproximações (PORTER, 2005).

No quadro 3, a seguir, são apresentados os experimentos realizados, os equipamentos utilizados e os respectivos laboratórios nos quais os mesmos foram feitos.

EXPERIMENTO	EQUIPAMENTOS	INSTITUIÇÃO
Análise Granulométrica por Peneiramento.	Agitador por vibração; Conjunto de peneiras da série Tyler; Balança com precisão de três casas decimais;	LABEME – UFPB
Análises Químicas Semi-quantitativas.	Estufa a 100 °C; Mufla a 1000 °C; Balança com precisão de três casas decimais; Prensa hidráulica com 25 toneladas de força; Espectrômetro de fluorescência de raios-X, equipado com tubo de Rh e 6 cristais analisadores.	NEG LABISE – UFPE
Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios-Método C.	Balança com resolução de 50 g; Concha de agregados, de fundo plano; Estufa para 105 (± 5) °C; Haste de adensamento com extremidade semi-esférica (16 x 600 mm); Recipiente metálico cilíndrico, rígido e com alças.	LABEME - UFPB
Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente.	Balança com capacidade mínima de 1 kg (resolução 0,1 g); Estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de 100 a 110 °C; Molde tronco-cônico, de 40 mm de diâmetro superior, 90 mm de diâmetro inferior e 75 mm de altura; Soquete metálico com 340 g de massa e superfície de compactação circular plana, com 25 mm de diâmetro; Ventilador ou secador regulável.	LABEME - UFPB
Determinação de Impurezas Orgânicas	Balança com Cap. Mínima de 1 kg e sensibilidade de 0,01 g; 200 g de agregado miúdo seco ao ar;	LABEME - UFPB

	Água destilada; Hidróxido de sódio (soda cáustica); Frasco Erlenmeyer com rolha esmerilhada de 250 ml; Colorímetro ou kit com Soluções Padrão;	
Análise de DRX	Bruker D2 PHASER; Detector Bruker-Lynxeye; DIFRAC.EVA_Bruker; Crystallography Open Dates.	LTM - UFPE
Modelagem Geológica	Software DATAMINE STUDIO 3.0.	LAPLA - UFPE

Quadro 3 – Resumo dos experimentos realizados e seus respectivos equipamentos e laboratórios.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 SONDAGEM

No quadro 4, estão relacionados os furos de sondagem com suas respectivas coordenadas geográficas, a profundidade atingida em cada perfuração e uma breve caracterização do material encontrado.

Observa-se que os furos 4, 9 e 17 não apresentaram areia. No furo 4, a partir de 4 m perfurados, encontrou-se uma camada de um argilito compactado, o mesmo argilito que é encontrado no furo 17. Prosseguiu-se com a perfuração até atingir-se a profundidade de 20 metros, na expectativa de encontrar-se areia após a camada, o que não aconteceu. No furo 9, a perfuração foi interrompida após alcançar-se 12 metros de profundidade, devido ao fato de não se acreditar que se atingiria mais a camada de areia. Como este furo se encontra na extremidade da malha de perfuração, a ausência de areia indica o provável término da jazida. Já no furo 17, a interrupção ocorreu mais cedo. Após se deparar com um arenito compactado durante 3 metros de perfuração, desistiu-se de prosseguir perfurando e iniciou-se a perfuração do furo 18.

FURO	COORDENADAS (ZONA 25M)		PROF. (m)	OBSERVAÇÃO
1	S 07°43'16,6"	W 34°57'42,9"	20	Areia.
2	S 07°43'13,3"	W 34°57'46,0"	20	Após 4 m de material compactado, areia.
3	S 07°43'03,1"	W 34°57'43,4"	22	Só areia.
4	S 07°43'07,0"	W 34°57'43,4"	20	Areia e a 4 m um argilito compactado.
5	S 07°43'06,1"	W 34°57'44,6"	20	Areia.
6	S 07°43'20,4"	W 34°57'55,6"	20	Areia.
7	S 07°43'03,0"	W 34°57'30,7"	20	Areia.
8	S 07°43'16,4"	W 34°57'49,4"	20	Só areia (5 m areia lavada)
9	S 07°43'34,0"	W 34°57'49,3"	12	Sem areia.
10	S 07°43'10,0"	W 34°57'49,4"	20	Com 4 m, camada compactada de ~ 4 m.
11	S 07°42'50,8"	W 34°57'19,3"	20	Areia.
12	S 07°43'10,0"	W 34°57'48,4"	20	Areia.
13	S 07°43'06,3"	W 34°57'44,6"	20	Areia.
14	S 07°43'31,0"	W 34°57'43,4"	20	Areia.
15	S 07°42'50,8"	W 34°57'13,3"	20	Areia.
16	S 07°42'58,0"	W 34°57'17,0"	24	Areia.
17	S 07°42'57,3"	W 34°57'28,3"	3	Arenito compactado.
18	S 07°42'55,4"	W 34°57'32,6"	24	24 m areia.
19	S 07°43'05,2"	W 34°57'32,0"	24	24 m areia.

Quadro 4 – Coordenadas, profundidades e características dos furos de sondagem.
Fonte: LABEME, 2014.

A partir dos resultados atingidos com o trabalho de sondagem e apresentados no Quadro 4 acima, observou-se que a jazida apresentou, uma camada compactada de argila silte e de areia de média para grossa, além de uma camada de arenito compactado. As espessuras destas camadas variam de

acordo com as coordenadas dos furos. Este material se apresenta litificado e compactado. A figura 17, a seguir, ilustra uma parte deste material.



*Figura 17 – Material compactado encontrado na jazida.
Fonte: Lira, B. B., 2014.*

No anexo B podem ser visualizadas mais figuras como esta, contendo fotos do local da jazida, da geologia da área, dos equipamentos utilizados na mesma e da área requerida no DNPM.

5.2 CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE

A determinação da massa unitária e do volume de vazios, observada na Tabela 2, caracteriza o material como um agregado miúdo. Esta caracterização foi realizada em uma parcela da amostra recolhida da jazida que, de um modo geral, a representa como um todo. O material foi caracterizado como uma areia para ser utilizada na construção civil como agregado miúdo, com uma massa unitária de

1,38 kg/dm³, em acordo com as normas da ABNT NBR NM 45: 2006. Apesar da caracterização ser realizada para uma única amostra, a análise visual das demais amostras vão resultar na mesma classificação. O mesmo se observa com relação à análise das impurezas orgânicas.

Foi enviada para o Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas – LABEME da Universidade Federal da Paraíba – UFPB uma porção da amostra representativa do depósito para a determinação de impurezas orgânicas. A solução de hidróxido de sódio com ácido tânico que permaneceu em contato com o agregado durante 24 horas ficou mais clara que a solução padrão. Este resultado mostra que a areia em análise pode ser utilizada na produção de argamassa, uma vez que, a mesma apresenta baixa contaminação orgânica e no processo de classificação a úmido pode-se retirar o material orgânico.

Com relação à massa específica, as amostras apresentam um valor em torno de 2,57 g/cm³. A massa unitária é sumarizada na Tabela 2, que apresentou um valor de 1,38 kg/dm³ que a caracteriza como um agregado miúdo para construção civil.

Tabela 2 – Massa unitária (agregado miúdo).

DISCRIMINAÇÃO	1ª Det.	2ª Det.	3ª Det.	Média
Massa do recipiente + amostra (kg)	27,48	27,65	27,70	27,61
Massa do recipiente (kg)	3,50	3,50	3,50	3,50
Massa da amostra (kg)	23,98	24,15	24,20	24,11
Volume do recipiente (dm ³)	17,50	17,50	17,50	17,50
Massa unitária estado solto (kg/dm ³)	1,37	1,38	1,38	1,38

Fonte: LABEME, 2014.

A Tabela 3 mostra o resultado da análise granulométrica realizada para a amostra B, que representa a jazida como um todo. Pode-se dizer que esta análise granulométrica, de modo geral, representa a distribuição granulométrica média da jazida.

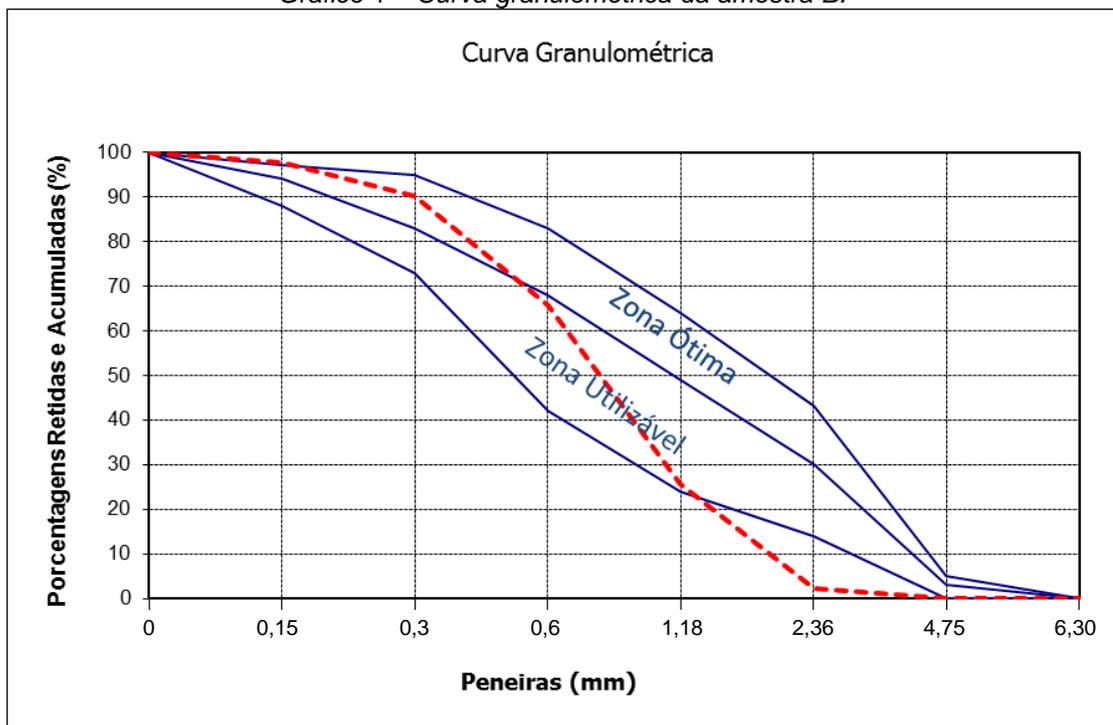
Tabela 3 – Análise granulométrica da amostra B.

PENEIRA (mm)	PESO RETIDO (g)	(%) RETIDA	(%) RETIDA ACUMULADA
4,75	0	0	0
2,36	22,3	2,23	2,23
1,18	233,1	23,31	25,54
0,6	401,3	40,13	65,67
0,3	246,1	24,61	90,28
0,15	73,5	7,35	97,63
Resíduo	23,7	2,37	-
Total	1000	100	

Fonte: LABEME, 2014.

O gráfico 1 exibe a curva granulométrica gerada a partir dos dados da Tabela 3. A curva em vermelho refere-se à curva gerada, as áreas em azul do gráfico representam a zona ótima e a zona utilizável para areias com uso na construção civil. Verifica-se que a areia em análise, na faixa acima de 1,2 mm, não se enquadra como um agregado para construção civil, na amostra B, ressaltando a necessidade de classificar a areia da jazida.

Gráfico 1 – Curva granulométrica da amostra B.



Fonte: LABEME, 2014.

A Tabela 4 apresenta uma análise granulométrica realizada com 16 amostras de areia, extraídas do local da jazida. Abaixo dos números das amostras, estão descritos os valores do peso retido nas peneiras para cada amostra. No lado direito, está a análise granulométrica representativa de todas as amostras juntas, ou seja, a análise granulométrica da combinação das 16 amostras apresentadas.

Observa-se que a areia apresenta-se praticamente uniforme, em todas as seções, os resultados granulométricos são basicamente semelhantes o que caracteriza uma uniformidade do jazimento.

Comparando-se os resultados das análises granulométricas das amostras com as do anexo, observa-se que na amostra 8 da tabela 14, o material apresenta uma mudança no comportamento. Esta mudança no comportamento é decorrente do furo ter apresentado um material mais grosso, em consequência da carreamento deste material por água de chuva. Entretanto, apesar desta amostra ter um tratamento diferenciado das demais, ela foi incorporada para definição da análise granulométrica global.

O Gráfico 2 apresenta a distribuição granulométrica representativa das 16 amostras selecionadas. É possível notar a semelhança entre a curva granulométrica das 16 amostras selecionadas com a curva granulométrica da amostra B. Devido à homogeneidade do material da jazida, tanto uma como a outra pode ser considerada como representativa de toda a jazida. Pode-se observar que o material é composto basicamente de areia média com uma baixa percentagem de material grosso.

O anexo A desta dissertação apresenta a análise granulométrica realizada nas 16 amostras retiradas dos furos de sondagem efetuados na jazida.

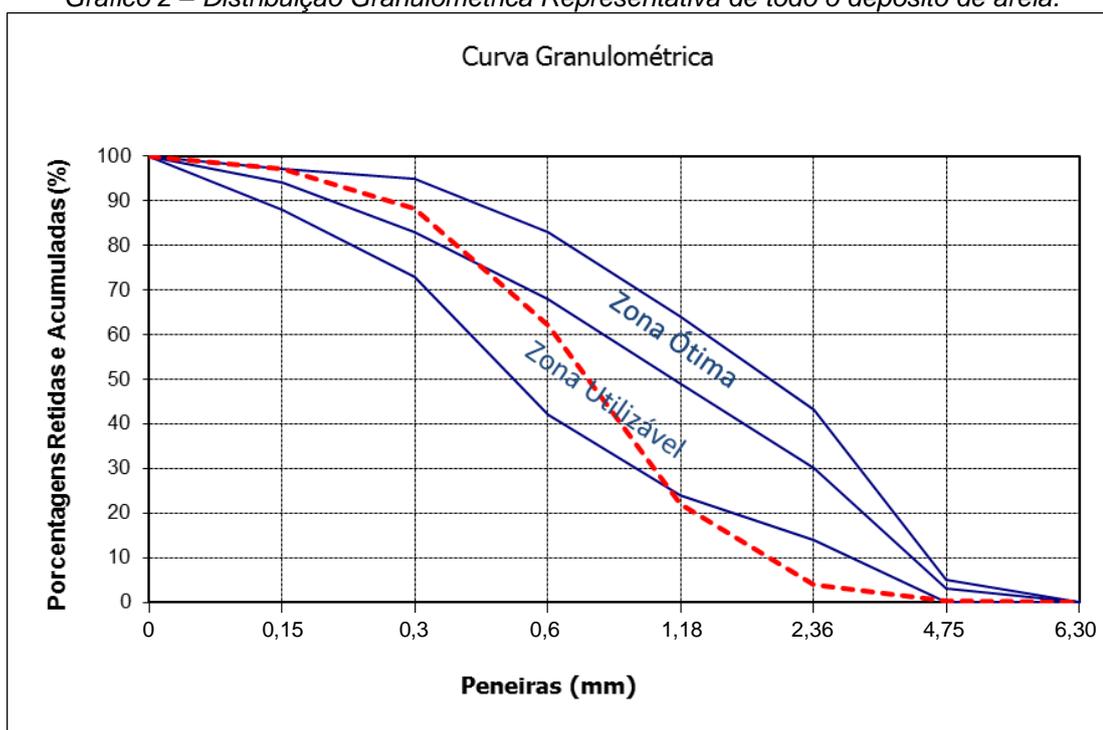
Tabela 4 – Dados da amostragem dos 16 furos de sondagem selecionados para compor a análise granulométrica representativa do material.

FUROS																PR (g)	% RET	% ACP	AP (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
0,4	0,5	5,2	9,4	0	2,5	3,6	0	14	0	0	0,5	2,7	0	3,4	2	44,2	0,4	100	4,75
48,2	39,1	52,8	45,2	22,3	12,3	31,1	0,5	25	7,7	0,5	11,5	25,4	0,2	22,7	40,5	385	3,46	96	2,36
127,8	108,3	149	95,7	233,1	57,9	105,2	15	140	164,2	15	428	96	11,1	91,8	175	2013,1	18,1	78	1,18
190,5	192,2	170	216,5	401,3	190,1	186,2	235	605	395,9	215	630	157	259,9	179,9	234,7	4459,2	40,1	37,9	0,6
138,6	165	148,2	155,2	246,1	124,8	136,9	380	155	298	265	85	120,5	234,3	114,5	122,8	2889,9	26	11,9	0,3
29,3	34,8	47,7	36,2	73,5	30,3	38,1	125	143	95,9	155	69	34,1	36,8	31	30	1009,7	9,1	2,84	0,15
10,2	11,3	15,3	8,5	23,7	8,6	14,1	35	55	38,3	15	40	10,7	7,2	11,8	10,2	314,9	2,84	-	-
545	551,2	588,2	566,7	1000	426,5	515,2	790,5	1137	1000	665,5	1264	446,4	549,5	455,1	615,2	11116	100	-	-

PR: Peso Retido; % RET: Porcentagem Retida; % ACP: Porcentagem Acumulada Passante; AP: Abertura da Peneira.

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 2 – Distribuição Granulométrica Representativa de todo o depósito de areia.



O material arenoso foi caracterizado quanto a sua granulometria e segundo a NBR 7225 e apresentou em torno de 4% de areia grossa, 3% de areia fina e 93% de areia média.

A granulometria é determinada segundo a NBR 7217 e deverá atender os limites inferiores utilizável e ótimo apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Limites granulométricos do agregado miúdo (areia).

PENEIRAS ABNT NBR NM-ISO 3310-3 (mm)	LIMITES INFERIORES		AREIA EM ANÁLISE
	ZONA UTILIZÁVEL	ZONA ÓTIMA	
2,36	0	0	0
1,18	5	20	22
0,6	15	35	62
0,3	50	65	88
0,15	85	90	97

Fonte: LABEME, 2014.

Verifica-se, a partir da Tabela 5, que a areia em análise não se enquadra dentro dos limites inferiores das zonas utilizável e ótima, necessitando de uma classificação granulométrica para se adequar a norma NBR 7217.

5.3 ANÁLISE QUÍMICA SEMI-QUANTITATIVA

A Tabela 6 apresenta o resultado das análises químicas semi-quantitativas efetuadas em uma amostra da areia que representa a jazida como um todo, utilizando-se o método da fluorescência de raios-X. Os resultados estão expressos em peso (%) e tr = traços.

É possível notar-se que a maior parte da composição química da amostra é representada pela sílica (SiO_2) e pela alumina (Al_2O_3), o que justifica a presença majoritária dos minerais quartzo (SiO_2) e caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) na areia, o que é positivo para a finalidade que se deseja aplicar este material.

O resultado obtido com a Análise de DRX (Páginas 58 e 59) vem comprovar a presença destes dois minerais, além da presença da dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), o que consolida os resultados e faz uma relação com a Fluorescência de Raios-X.

Tabela 6 – Resultado das análises químicas semi-quantitativas.

COMPOSTO	PESO (%)
SiO ₂	91,0
Al ₂ O ₃	5,9
K ₂ O	0,6
TiO ₂	0,4
Fe ₂ O _{3T}	0,4
CaO	0,2
Na ₂ O	0,1
P ₂ O ₅	0,1
MgO	0,1
ZrO ₂	tr
Cr ₂ O ₃	tr
Rb ₂ O	tr
CuO	tr
SrO	tr
ZnO	tr
NiO	tr
PF	1,2
Total	100,0

Fonte: NEG LABISE, 2014.

Conforme cálculos estequiométricos, o material arenoso é composto basicamente por:

- 85% de Quartzo – dióxido de silício (SiO₂);
- 14,9% de Caulinita – silicato de alumínio hidratado (Al₂Si₂O₅(OH)₄), inclusive com a variedade Nacrita;
- 0,4% de Rutilo – dióxido de Titânio (TiO₂);
- 0,4% de Hematita – óxido de ferro III (Fe₂O₃);
- 0,3% de Dolomita – carbonato de cálcio e magnésio (CaMg(CO₃)₂).

Total: 101,0%

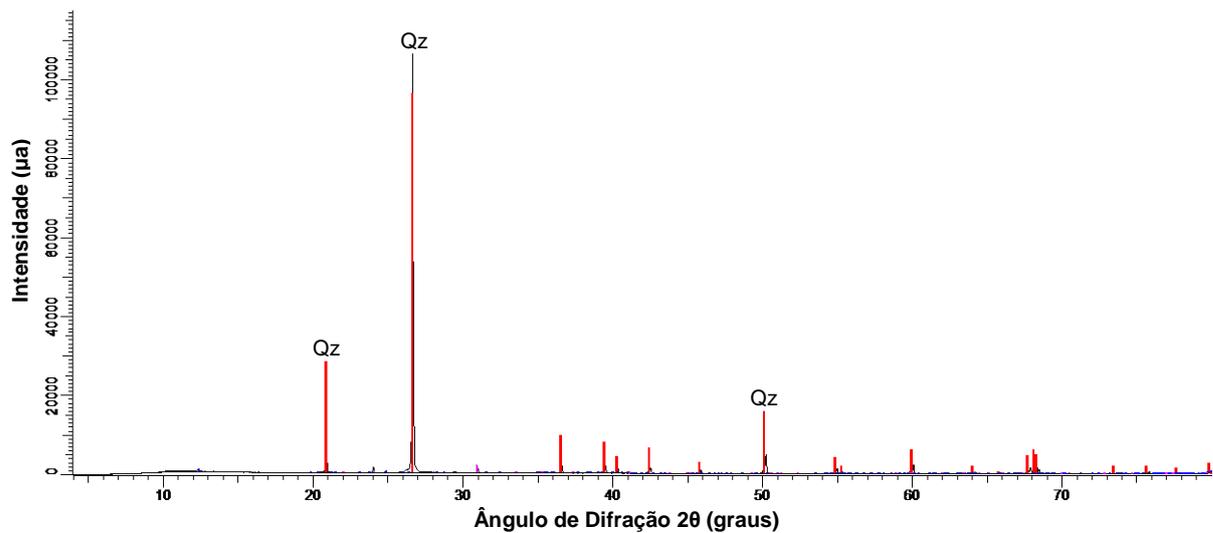
De acordo com o resultado das análises químicas semi-quantitativas, realizadas através da fluorescência de raios-X, a areia em questão não apresenta

nenhum impedimento para ser comercializada como agregado para construção civil.

5.4 ANÁLISE DE DRX

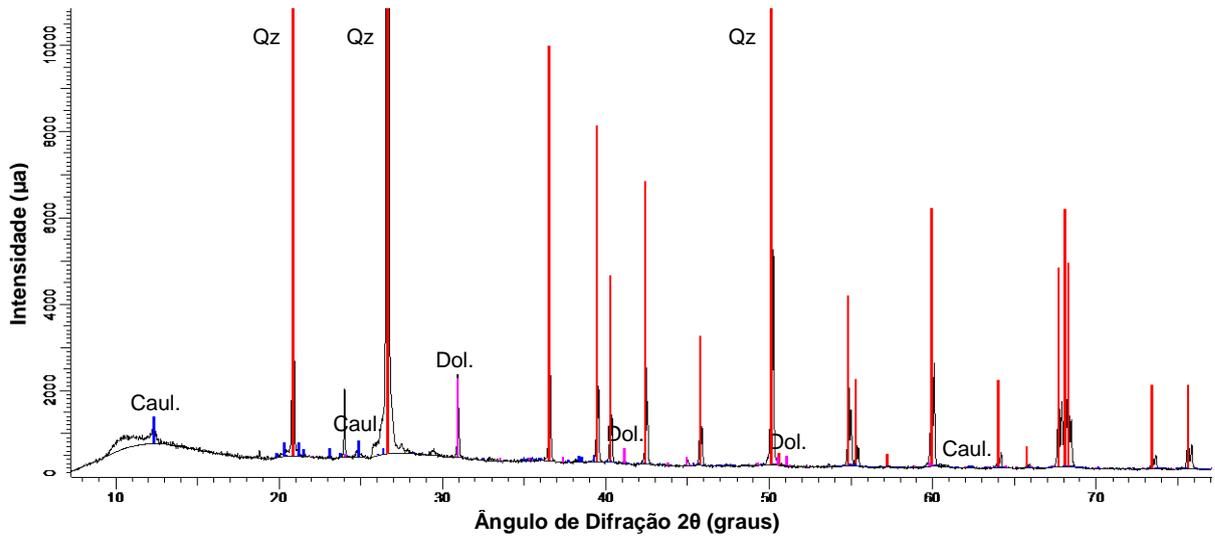
Os gráficos 3, 4 e 5, a seguir, expressam o resultado das análises de difratometria de raios-X, executadas em uma amostra de areia da jazida, que a representa como um todo. O terceiro gráfico é uma ampliação do segundo, que por sua vez, é uma ampliação do primeiro gráfico.

Gráfico 3 – Difratograma de raios-X.



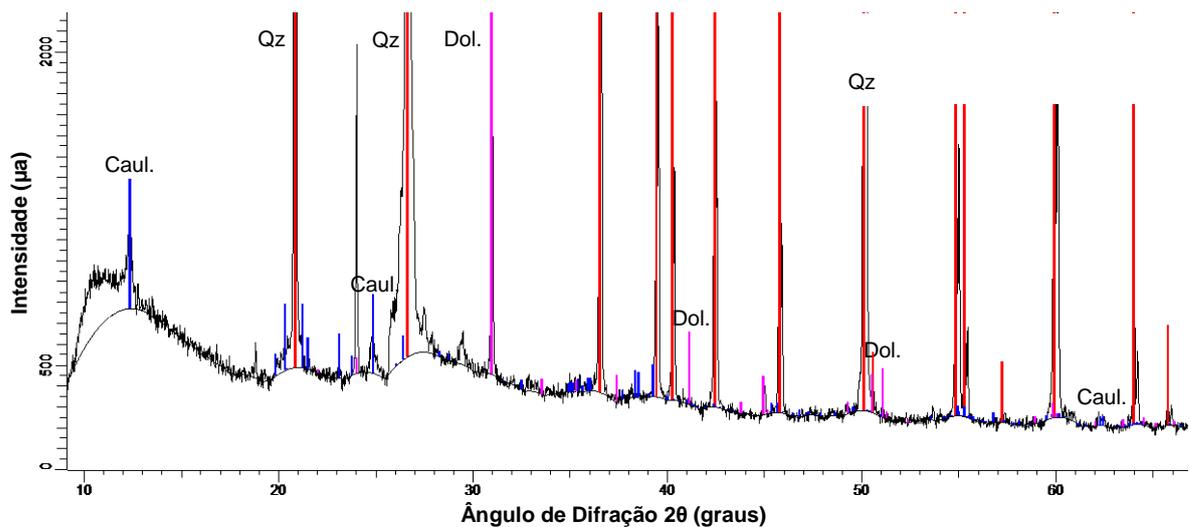
Fonte: LTM, 2014.

Gráfico 4 – Difratoograma de raios-X.



Fonte: LTM, 2014.

Gráfico 5 – Difratoograma de raios-X.



Fonte: LTM, 2014.

As análises mostram claramente a presença de quartzo, caulinita (inclusive a variedade Nacrita) e Dolomita. Os principais picos do quartzo são representados pela cor vermelha e estão localizados no eixo horizontal dos gráficos à 20,85, 26,65 e 50,14 (2θ), os picos da caulinita aparecem na cor azul, situados à 12,33°, 24,85° e 62,26° (2θ), os da dolomita estão na cor roxa e aparecem à 30,99°, 41,17° e 51,13° (2θ).

Para efeito de construção civil, o material é adequado, com uma pequena precaução com um eventual aumento na concentração de dolomita, cujo foco de origem não é conhecido.

5.5 MODELAGEM GEOLÓGICA

5.5.1 Cálculo da Reserva de Areia

Através do software DATAMINE STUDIO 3.0 foi possível a determinação do volume da reserva de areia. Utilizando o método dos triângulos, foram obtidos 22 triângulos para o cálculo do volume total da jazida. A Tabela 7 mostra o volume obtido para cada triângulo gerado e o valor da soma destes volumes.

Tabela 7 – Volumes dos triângulos obtidos pelo software DATAMINE.

TRIÂNGULO	VOLUME (m³)
1	1.705.227,25
2	280.804,92
3	190.855,56
4	131.062,03
5	45.294,61
6	1.105.223,38
7	264.188,67
8	222.698,14
9	66.420
10	8.151,25
11	37.094,06
12	93.851,21
13	2.576,88
14	45.639,75
15	461.197,72
16	288.961,39
17	1.000.829,81
18	201.334,2
19	456.299,48
20	140.198,73
21	1.135.277
22	434.290,98
TOTAL	8.317.477,02

Fonte: LAPLA, 2015.

O valor obtido para o volume total foi de 8.317.477,02 m³. O valor da tonelagem da reserva medida pelo DATAMINE foi obtido multiplicando o valor da densidade de 2,57 t/ m³ pelo volume calculado acima de 8.317.477,02 m³, que resultou em 21.375.915,94 de toneladas.

A Figura 18 a seguir mostra uma vista tridimensional da jazida em questão, dividida em vários triângulos para o cálculo do volume.

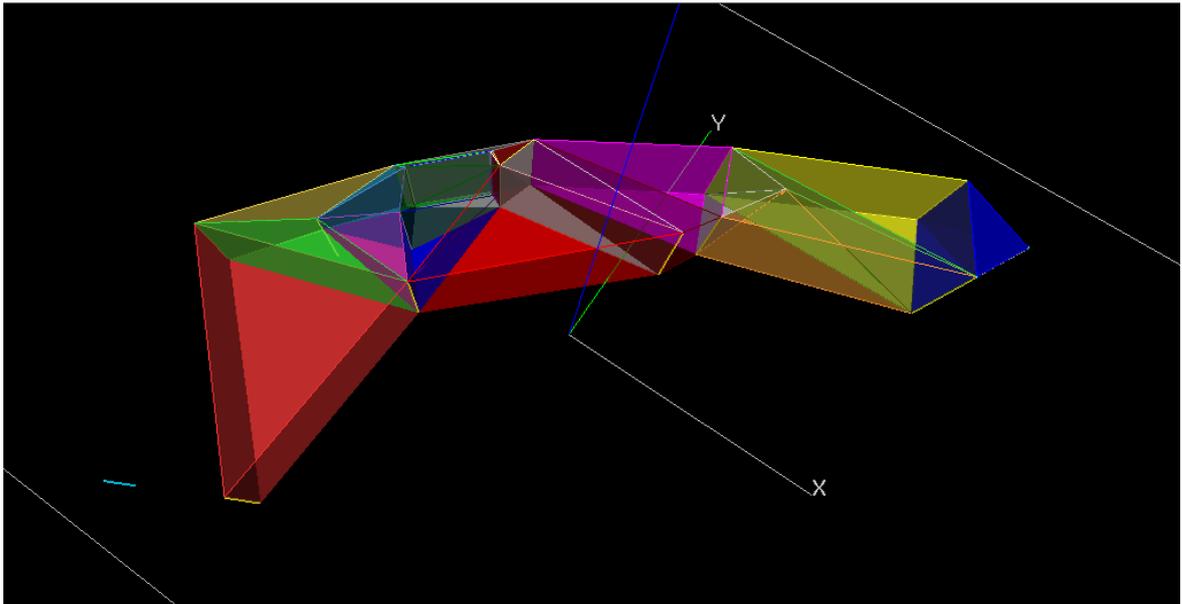


Figura 18 – Vista tridimensional da jazida dividida em vários triângulos.
Fonte: Autor, 2015.

O modelo das *wireframes* representa a forma geométrica dos corpos (Figura 19) e também permite a criação do modelo de blocos (Figura 20). As *wireframes* foram modeladas a partir da ligação das *strings*, que foram constituídas por vários pontos em 3D os quais são unidos por uma linha. As *wireframes* formaram triângulos que foram ligados para formar uma superfície sobre os quais o modelo de blocos pôde ser construído e o volume calculado.

A partir das *wireframes*, o volume definido pelo contorno pôde ser calculado com precisão. O resultado foi de 6.976.230,22 m³, que é equivalente a uma massa de 17.928.911 de toneladas.

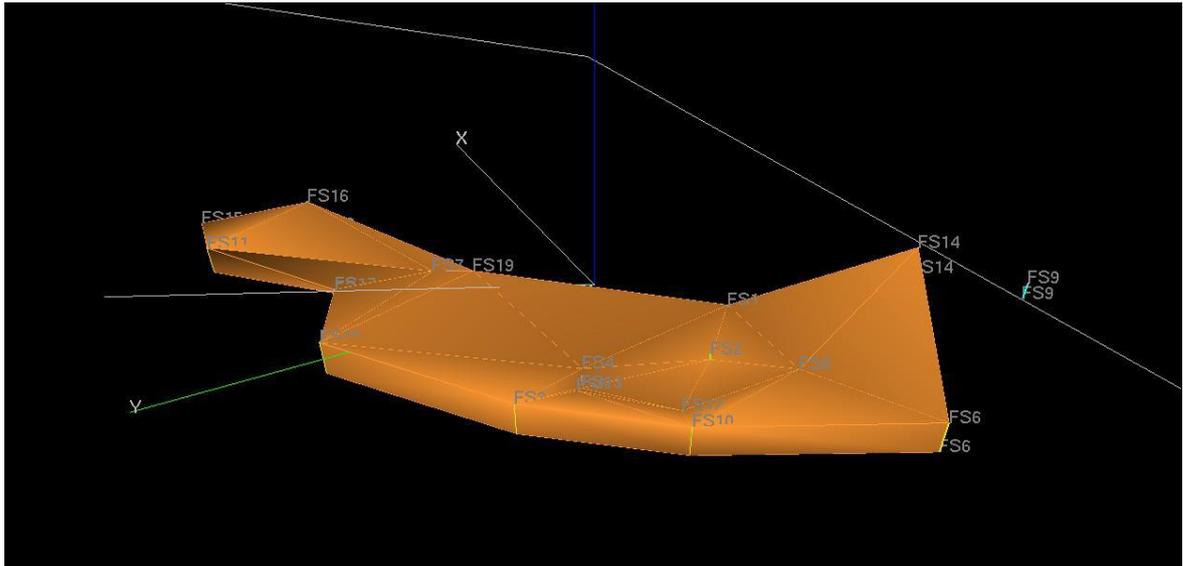
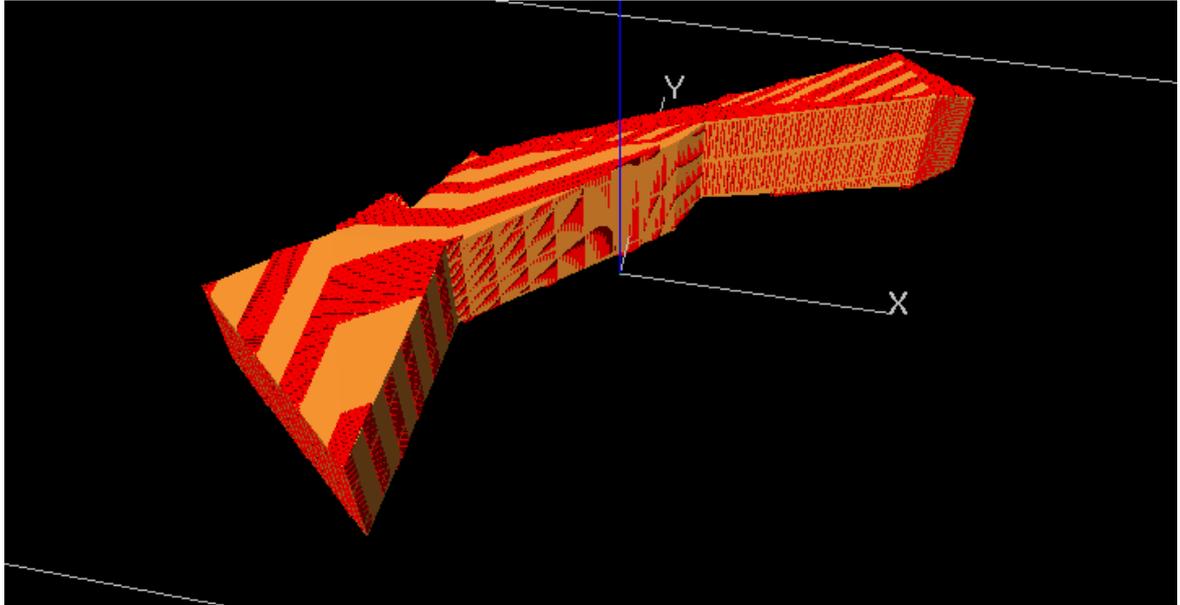


Figura 19 – Determinação do modelo geológico da jazida de areia.
 Fonte: Autor, 2015.

O modelo de blocos foi construído baseado nas *wireframes* e arquivos dos furos criados. O modelo tem um limite superior definido pela topografia e usou a *wireframe* do volume do corpo mineral para controlar os limites internos entre minério e estéril.

O valor calculado a partir do modelo de blocos foi de 6.703.923,4 m³ ou 17.229.083 toneladas. A diferença entre os valores obtidos pelo método das *wireframes* e pelo método dos blocos foi de 272.307 m³, que corresponde a 699.828,9 toneladas. A porcentagem de discrepância entre os volumes foi de 4,1%.

A desigualdade de valores do método de triângulos em relação aos métodos das *wireframes* e dos blocos foi de 1.341.246,8 m³ e 1.613.553,62 m³ respectivamente. A porcentagem de disparidade foi de 19,2% e 24,1% respectivamente.



*Figura 20 – Vista tridimensional da jazida preenchida por blocos.
Fonte: Autor, 2015.*

Diante da determinação da reserva de areia baseada no DATAMINE foi possível determinar a viabilidade e a vida útil da jazida, bem como o faturamento com a lavra da mesma. Para a quantidade de material acima, cerca de 18.000.000 de toneladas, e para uma produção prevista de 25.000 toneladas por mês, a vida útil da jazida será de aproximadamente 60 anos.

Com o preço médio atual da tonelada de areia média em torno de R\$ 32,00, segundo o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil da Caixa Econômica Federal (2015), o faturamento bruto da jazida será em torno de R\$ 9.600.000,00 por ano.

6 PROJETO DO EMPREENDIMENTO

Como o depósito de areia estudado trata-se de um depósito não inundado e a sua superfície apresenta suporte para equipamentos pesados, o método de desmonte indicado para a jazida é o desmonte mecânico. Para este método será necessário uma escavadeira hidráulica sobre esteiras com capacidade de caçamba de 3,5 m³ e uma potência mínima de 6 ton., uma pá carregadeira sobre rodas com capacidade de caçamba de 3,0 m³ e potência mínima de 5 ton. e caminhões tipo caçamba basculante com capacidade de 16 m³ e potência de 25 toneladas.

A unidade de beneficiamento deverá compor de um sistema de peneiramento a úmido, seguido da classificação de finos. Inicialmente deverá ser instalada a unidade de peneiramento e posteriormente à classificação granulométrica da peneira, deve vir a unidade de classificação de finos (hidrociclonação). Há necessidade de se analisar a instalação de um sistema de limpeza dos materiais orgânicos utilizando um “Hidro-clean”, que é um sistema de limpeza de alta pressão de misturas de matéria prima para partículas, variando de 0 a 70 mm de diâmetro, adequado especialmente à indústria de areia e cascalho. A taxa de alimentação de material é ajustável de acordo com o nível de contaminação e sujeira desse material. Um consumo de apenas 0,12 a 0,20 m³ de água é necessário para limpar uma tonelada de terra ou argila contaminada, com um gasto de apenas 0,3 a 0,5 kWh de energia elétrica.

Uma das possibilidades da peneira a ser instalada é a peneira “banana”. Segundo o site da Haver & Boecker Latinoamericana (2015), esta peneira tem como característica principal a utilização de várias inclinações do “deck”, que resulta em maiores capacidades e velocidades de transporte, resultando numa menor altura da camada de areia, facilitando a aproximação dos finos nas aberturas. A Figura 21 abaixo ilustra este tipo de peneira.

As peneiras tipo “banana” possuem decks de inclinações variáveis ao longo do comprimento da peneira. No trecho da alimentação, começam com ângulos bem maiores que as inclinadas convencionais (na faixa de 25 a 35°) e terminam

usualmente na faixa de 5 a 10°. Para permitir esta baixa inclinação no setor da descarga, utilizam-se movimentos lineares, o que as tornam mais caras quando comparadas às peneiras inclinadas convencionais de mesmo tamanho (BOSCARATO, 2006).



*Figura 21 – Peneira tipo “banana”.
Fonte: Metso, 2006.*

A grande vantagem das peneiras tipo “banana” está nas aplicações onde o material contém alta quantidade de finos, condição na qual existe um ganho significativo de capacidade em relação às peneiras convencionais. O ganho relativo, comparado com as peneiras inclinadas convencionais, depende da quantidade de finos presentes na alimentação. Considera-se que, com a alimentação contendo menos de 30% de fração passante, não existem ganhos no uso da peneira banana. Porém, podem ter a capacidade dobrada quando existem grande quantidade de finos, como no caso de minério de ferro. Nas aplicações onde a quantidade de finos é baixa, caso típico de repeneiramento, o uso de peneira tipo “banana” é conceitualmente incorreto (BOSCARATO, 2006).

A Figura 22, a seguir, mostra o esquema de funcionamento deste tipo de peneira.

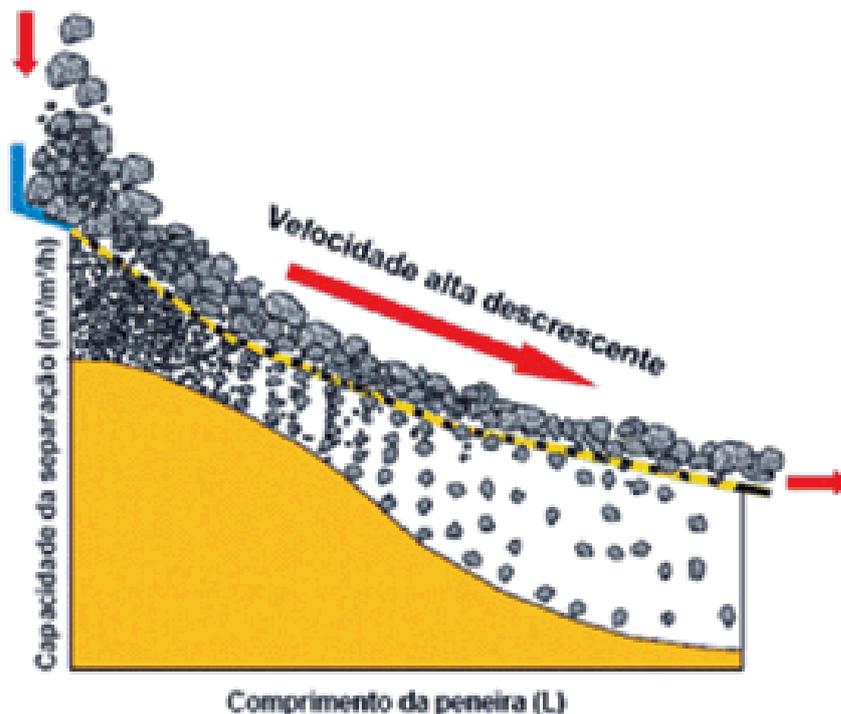


Figura 22 – Esquema de funcionamento da peneira tipo “banana”.
Fonte: Metso, 2006.

Boscarato (2006) afirma que o princípio de funcionamento das peneiras tipo “banana” baseia-se na alta velocidade no trecho inicial, permitindo manusear grande volume sem derramamento. A alta velocidade resulta em menor altura da camada de produto, o que provoca o contato rápido das partículas finas desde o trecho inicial da peneira, conseguindo-se retirar grande quantidade de finos rapidamente. Os trechos seguintes, de inclinações decrescentes, possuem velocidades cada vez menores e têm a função de obter maior eficiência de classificação.

Outra alternativa da peneira é o sistema de vibração linear, operando com as seguintes características:

- Amplitude variável;
- Frequência e amplitude ajustáveis;
- Classificação a úmido;
- Menor necessidade de altura entre alimentação e descarga;
- Cortes entre 0,4 e 10 mm;
- Possibilidade de dois decks de classificação;
- Construção horizontal;

- Utilização de bolas batedoras para minimizar entupimento de telas.

Para se obter o máximo de rendimento das peneiras tipo “banana”, é fundamental que se faça uma alimentação bem distribuída. Caso contrário, em função da alta velocidade, uma boa parte da área de peneiramento é perdida. O uso de aberturas retangulares no sentido do fluxo, com relação comprimento/largura escalonada ao longo da peneira, também é prática importante para maximizar o rendimento (BOSCARATO, 2006).

As peneiras tipo “banana” originais começavam com a inclinação típica de 35° no lado da alimentação. A prática mostrou que a velocidade, com esta inclinação, tornava-se muito alta, o que, em muitos casos, provocava a perda de rendimento de classificação e desgaste excessivo da tela nesta região. A tendência atual das peneiras tipo banana é a utilização de inclinações iniciais mais moderadas, entre 25 e 30° (BOSCARATO, 2006).

Para operação, estes equipamentos requerem alimentador vibratório, esteiras, bombas de polpa e equipamentos para reaproveitamento da água, a exemplo dos espessadores. O reaproveitamento da água poderá ainda ser feito através da instalação de barragens de rejeitos. A instalação de um poço artesiano, energia elétrica trifásica e uma unidade de apoio (escritório, equipamentos laboratoriais e sistema computacional) são essenciais.

Para se processar o material mais compacto, que se encontra associado ao depósito da areia e está a uma profundidade média de 4 m e em alguns pontos praticamente aflora, será necessário a instalação de uma unidade de cominuição, com um moinho de martelo para desagregar este material.

A unidade a ser instalada deverá ter a versatilidade de beneficiar dois materiais: um composto de areia média e fina, conforme pode se observar na análise granulométrica realizada para a areia em estudo (Tabela 3, página 52) e um segundo material composto de uma areia média e grossa associada a um argilite e silte.

Para a unidade de beneficiamento, pode-se utilizar uma peneira de dois “decks” para uma separação da areia grossa, acima de 2,36 mm e uma areia média, abaixo de 2,36 mm e acima de 0,3 mm. O “undersize” desta peneira, composto de areia fina e material orgânico, deverá ser classificado em uma unidade de hidrociclonagem. O “oversize” da hidrociclonagem conterà água e

material orgânico e o "undersize" areia fina lavada. Entretanto, esta configuração muda, se optarmos pela instalação de um "Hidro-clean".

Com relação ao material mais compactado, será necessário a aquisição de um moinho de martelo e na sequência, os equipamentos referenciados acima. Entretanto, este moinho será de baixa capacidade.

A Figura 23, a seguir, apresenta um projeto, elaborado pela Metso, para a unidade de classificação a ser implantada. O projeto é composto por um peneira vibratória tipo banana, com dois decks (para separação da areia grossa e média), correias transportadoras e um moinho de martelo.

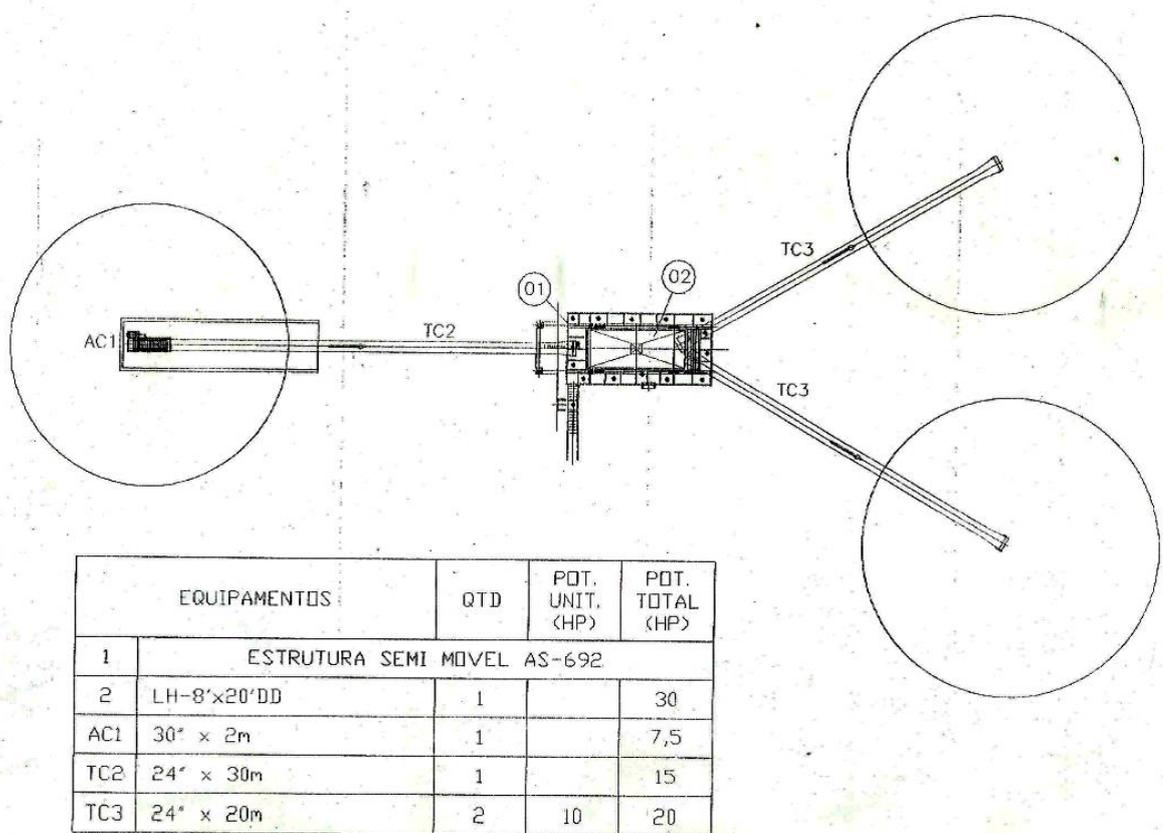


Figura 23 – Unidade de classificação a ser implantada.
Fonte: Metso, 2013.

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos através dos testes de caracterização e qualidade realizados nas amostras de areia retiradas da jazida em questão, constatou-se que o material pode ser utilizado na construção civil como agregado miúdo, com uma massa unitária de $1,38 \text{ kg/dm}^3$, em acordo com as normas da ABNT NBR NM 45: 2006, como também ser utilizado na produção de argamassa, uma vez que o mesmo apresenta baixa contaminação orgânica e no processo de classificação a úmido pode-se retirar este material.

Com relação à caracterização granulométrica, a areia em análise, na faixa acima de 1,2 mm, não se enquadra como um agregado para construção civil, ressaltando a necessidade de classificar a areia da jazida.

O material arenoso, segundo a NBR 7225, apresentou em torno de 4% de areia grossa, 3% de areia fina e 93% de areia média e requer uma classificação granulométrica para se adequar a norma NBR 7217.

Segundo o resultado obtido na análise química semi-quantitativa e na análise de DRX, o material arenoso é composto basicamente por: Quartzo, Caulinita (inclusive a variedade Nacrita), Rutilo, Hematita e Dolomita, o que não impede o seu uso como agregado para construção civil.

A partir dos resultados obtidos com os levantamentos topográficos e a sondagem, verificou-se que a jazida apresentou, a uma profundidade que oscila de 1 a 4 m, uma camada compactada de argila silte, e areia de média para grossa, que se apresenta litificada e compactada. Este material deve ser separado da areia por métodos de beneficiamento adequados.

O *software* DATAMINE STUDIO 3.0 apresentou um valor para o volume da jazida, em torno de 18.000.000 (dezoito milhões) de toneladas. Esta quantidade de material garantirá uma vida útil da jazida será de aproximadamente 60 anos e um faturamento bruto em torno de R\$ 9.600.000,00 (nove milhões e seiscentos mil) por ano, com o valor atual da areia em torno de R\$ 32,00 (trinta e dois) / tonelada. Estes dados de volume e faturamento são consideráveis para se justificar a implantação do empreendimento.

Devido às características da jazida, a areia devará ser lavrada pelo método de desmonte mecânico, utilizando para isso: uma escavadeira hidráulica sobre esteiras, uma pá carregadeira sobre rodas e caminhões tipo caçamba basculante.

Para o beneficiamento da areia será necessário um sistema de peneiramento a úmido, seguido da classificação de finos, um sistema de limpeza de alta pressão de misturas de matéria prima para partículas, variando de 0 a 70 mm de diâmetro, uma peneira tipo banana, um alimentador vibratório, esteiras, bombas de polpa e equipamentos para reaproveitamento da água, a instalação de barragens de rejeitos, um poço artesiano, energia elétrica trifásica e uma unidade de apoio (escritório, equipamentos laboratoriais e sistema computacional), a instalação de uma unidade de cominuição com um moinho de martelo para desagregar este material, peneira de dois “decks” para uma separação da areia grossa, acima de 2,36 mm e uma areia média, abaixo de 2,36 mm e acima de 0,3 mm e uma unidade de hidrociclonagem.

Devido às características do depósito e o método de lavra a ser empregado, os impactos ambientais decorrentes da extração dessa areia podem ser revertidos e sua mitigação é relativamente simples.

A localização desta jazida é privilegiada em relação às demais que fornecem areia para a Região Metropolitana do Recife e cidades vizinhas, sendo um ponto estratégico para comercialização do seu material.

REFERÊNCIAS

ALBERS, A. P. F. et al. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Scielo**. São Paulo, *Cerâmica*, Mar 2002, vol.48, no.305, p.34-37. ISSN 0366-6913. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v48n305/a0848305.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2015.

ALMEIDA, Raquel Olimpia Peláez Ocampo. **Revegetação de Áreas Mineradas: Estudo dos Procedimentos Aplicados em Minerações de Areia**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.

ALMEIDA, S. L. M. de; LUZ, A. B. da (Ed.). **Manual de agregados para construção civil**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2012. 228 p. il. ISBN 9788561121457

ANDRADE, Carlos Eduardo Silva. **Análise e Caracterização de Cinzas do Processo de Incineração de Resíduos de Serviço de Saúde para Reaproveitamento**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFMG, Belo Horizonte.

ARAUJO, Jacqueline Madalena de Melo. **Impactos Socioambientais da Mineração de Brita no Município de Jaboatão dos Guararapes: estudo de caso da mineração Usibrita**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, UFPE, Recife.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. NBR 7217. Rio de Janeiro, ago. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. NBR NM 45. Rio de Janeiro, Mar. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** NBR NM 52. Rio de Janeiro, out. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregados para Concreto - Especificação.** NBR 7211. Rio de Janeiro, mai. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregados - Terminologia.** NBR 9935. Rio de Janeiro, fev. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Materiais de Pedra e Agregados Naturais.** NBR 7225. Rio de Janeiro, jun. 1993.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL – ANEPAC. **Indústria de Agregados do Brasil: Avanços Rumo à sustentabilidade.** Disponível em: <www.anepac.org.br>. Acesso em: 18 Mar. 2015.

BAREA, Marco Antônio Schmidt. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização do Agregado Miúdo de Britagem de Rocha Basáltica em Argamassa de Revestimento.** Pato Branco: 2013. 71 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento de Construção Civil.

BASTOS, Flávia de Freitas. **Aplicação da Terrace Mining como alternativa para lavra de gipsita na região do Araripe – Pernambuco.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, UFPE, Recife.

BAUER, L. Falcão. **Materiais de construção 5ª edição.** Livros Técnicos e Científicos Editora. São Paulo, 1995.

BELTRÃO, Breno Augusto et al. **Diagnóstico do Município de Igarassu**. Recife: Ministério de Minas e Energia / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2005, 22 p.

BEZERRA, Marcelo Soares. A Sustentabilidade da Produção de Minerais Industriais em Regiões Metropolitanas – Um Estudo de Caso. **Holos**, Natal, vol. 5, ano 28, p. 12, ago 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1109/592>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

BOSCARATO, Márcia. Novas Tecnologias em Peneiras Vibratórias. **Metso Brasil Indústria e Comércio Ltda**. São Paulo, fev. 2006. Disponível em: <http://www.metso.com/br/news_br.nsf/WebWID/WTB-060217-2256D-5806C?OpenDocument>. Acesso em: 28 jun. 2015.

BUENO, R. I. S. (2010). **Aproveitamento de Areia Gerada em Obra de Desassoreamento – Caso Rio Paraíba/SP**, Dissertação de Mestrado em engenharia, 109 p, EPUSP.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <www.caixa.gov.br>. Acesso em: 21 Mar. 2015.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do Tratamento de Minérios**. São Paulo, Signus, 2004, vol. 2 (segunda edição).

CHAVES, Arthur Pinto; WHITAKER William. Operações de Beneficiamento de Areia, Capítulo 11. In: ALMEIDA, S. L. M. de; LUZ, A. B. da (Ed.). **Manual de agregados para construção civil**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2012. 228 p. il. ISBN 9788561121457

DATAMINE. **Studio 3**. Disponível em: <www.dataminesoftware.com>. Acesso em: 05 fev. 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DENER. **Areia - determinação de impurezas orgânicas**. DNER-ME 055/95. Norma rodoviária. Rio de Janeiro, Nov. 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Sumário Mineral 2014**. Brasília: DNPM, 2015. vol. 34. 141 p. Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br> >. Acesso em: 20 jun. 2015.

FERREIRA, Gilson Ezequiel; FONSECA JUNIOR, Carlos Alberto Felix. Mercado de Agregados no Brasil. Capítulo 2. In: **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2012.

HAYER & BOECKER LATINOAMERICANA. **Peneiras Vibratórias**. Disponível em: < <http://www.haverbrasil.com.br/pt/equipamentos/index.php?sec=mineral>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de Dados – Cidades**. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=261160&search=pernambuc|recife>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 Mar. 2015.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE. Grupo de Pesquisa Mineral. **Sondagem Geológica**. Natal, 2012. Disponível em: <www2.ifrn.edu.br/pesquisamineral/?p=1036>. Acesso em: 05 fev. 2015.

LADEIRA, Eduardo A.. **Análise da Informação Geológica do Brasil**. Relatório Técnico 10 – Informação Geológica do Brasil. Brasília: Ministério de Minas e Energia / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, 2009. 110 p.

MAXWELL. **Fundamentos Teóricos da Técnica de Análise Espectrométrica por Fluorescência de Raios-X**. Disponível em: <www.maxwell.vrac.puc-rio.br/18799/18799_6.PDF>. Acesso em: 05 fev. 2015.

METSO BRASIL IND. E COM. LTDA.. **Lavadores de Rosca**. Disponível em: <[http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050607-2256F-2CDE7/\\$File/Lavadores_PT.pdf](http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050607-2256F-2CDE7/$File/Lavadores_PT.pdf)>. Acesso em: 26 jun.2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 369**. Brasília, 2006. p 94-101. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em: 14 out. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. **Produto 22 – Agregados para Construção Civil - Relatório Técnico 31, Perfil de areia para construção civil**. Brasília, 2009. p.1-33.

NEUMANN, Reiner; SCHNEIDER, Claudio Luiz; ALCOVER NETO, Arnaldo. Caracterização Tecnológica de Minérios – Parte II. In: LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina A. **Tratamento de Minérios**. 5 Ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010. p. 85-137.

PISSATO, E (2009). **Gestão da mineração de areia no município de Guarulhos: aproveitamento de resíduos finos em cerâmica vermelha**. Tese de Doutorado pela EPUSP, 115 p, São Paulo, 2009.

PFALTZGRAFF, P. A. S. (1994). **Aspectos Ambientais da Lavra de Areia. Exemplo da Área Produtora do Rio São João**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFRJ, 1994.

PORTER, Sara. **Studio 3 – Manual de Treinamento em Geologia do Studio 3**. Datamine Latin America – Brasil. Nova Lima: fev. 2005. Disponível em: <

<http://pt.scribd.com/doc/207060732/Tutorial-Datamine-3-Geologia-portugues#scribd>>. Acesso em: 09 out. 2015.

QUARESMA, Luiz Felipe. **Agregados para construção civil**: Relatório Técnico 31 – Perfil de Areia para Construção Civil. Brasília: Ministério de Minas e Energia / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM, 2009. 33p.

SIMITH, M. R.; COLLIS, L. (2001). **Extraction in Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes**. M. R. Simith and L. Collis. London, 2001, p. 23 – 105. 3rd Edition. Published by Geological Society.

SOCIEDADE DOS MINERADORES DE AREIA DO RIO JACUI LTDA - SMARJA **Palestra do Diretor-Presidente Sandro Alex de Almeida**. Disponível em: <www.smarja.com.br/historico.html>. Acesso em: 20 jun. 2015.

SILVA, Gustavo Alexandre. **Diagnóstico do setor de agregados para a construção civil na região metropolitana de Natal – RN**. Recife: 2012. 193 p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral.

SUPERFÍCIE GEOMÁTICA. **Topografia**. Disponível em: <<http://www.superficie.pt/web/topografia>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

ANEXO A ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS

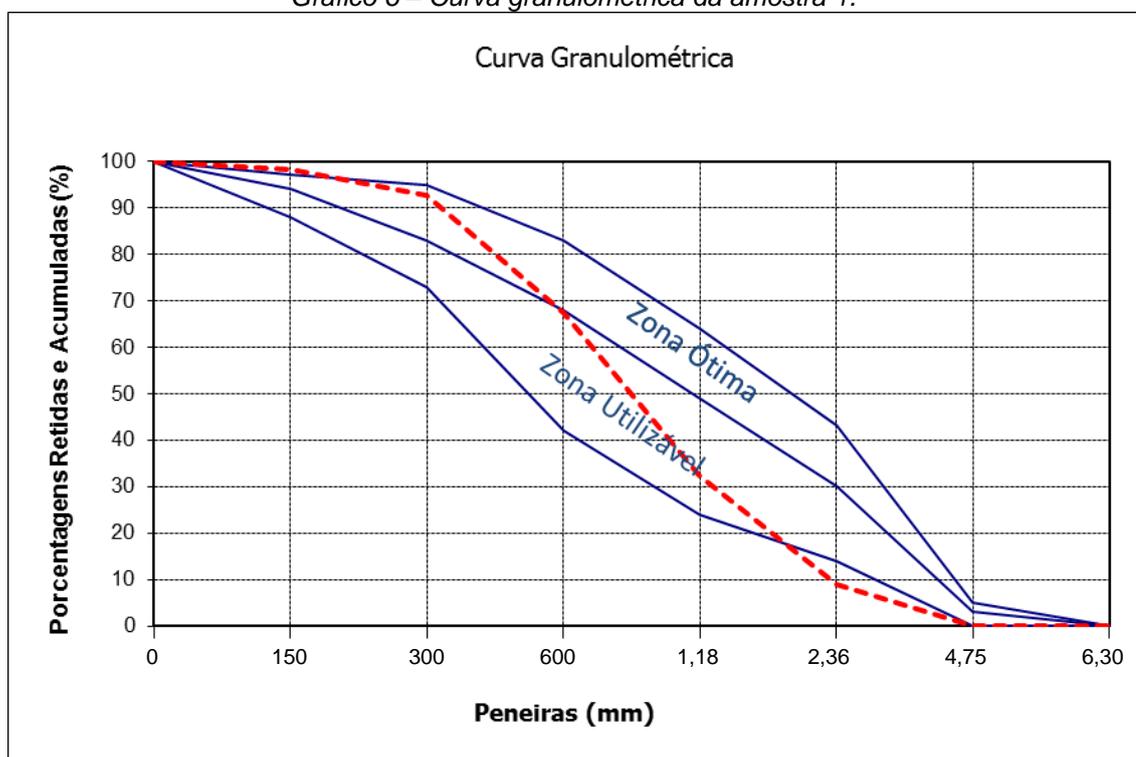
ENSAIOS REALIZADOS COM OUTRAS 9 AMOSTRAS DA AREIA

Tabela 8 – Análise granulométrica da amostra 1.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,40	0,07	0,07
2,36	48,20	8,84	8,92
1,18	127,80	23,45	32,37
0,6	190,50	34,95	67,32
0,3	138,60	25,43	92,75
0,15	29,30	5,38	98,13
Resíduo	10,20	1,87	
TOTAL	545,00		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 6 – Curva granulométrica da amostra 1.



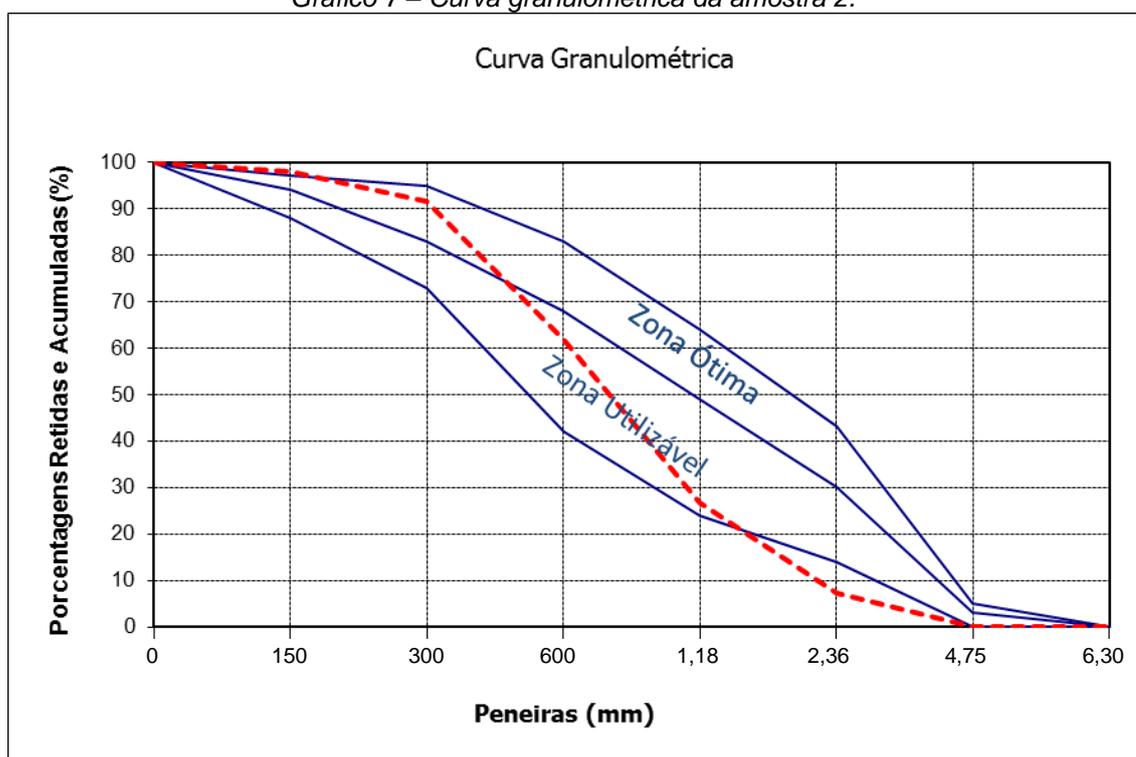
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 9 – Análise granulométrica da amostra 2.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,50	0,09	0,09
2,36	39,10	7,09	7,18
1,18	108,30	19,65	26,83
0,6	192,20	34,87	61,70
0,3	165,00	29,93	91,64
0,15	34,80	6,31	97,95
Resíduo	11,30	2,05	
TOTAL	551,20		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 7 – Curva granulométrica da amostra 2.



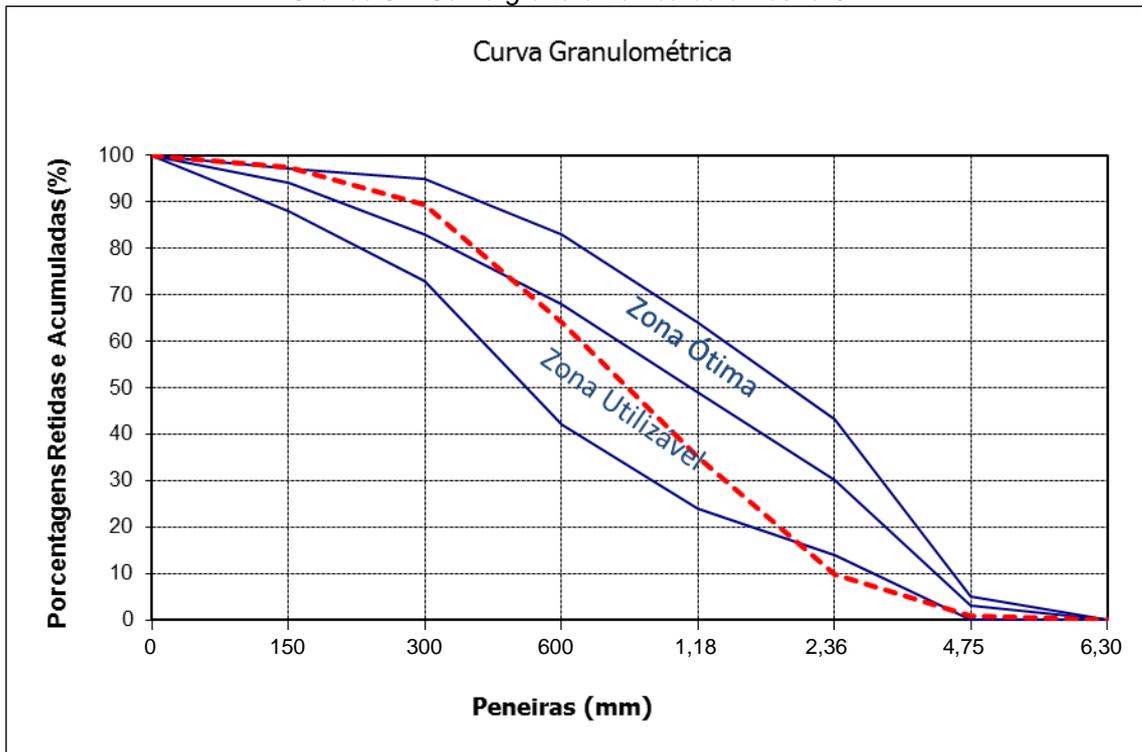
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 10 – Análise granulométrica da amostra 3.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	5,20	0,88	0,88
2,36	52,80	8,98	9,86
1,18	149,00	25,33	35,19
0,6	170,00	28,90	64,09
0,3	148,20	25,20	89,29
0,15	47,70	8,11	97,40
Resíduo	15,30	2,60	
TOTAL	588,20		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 8 – Curva granulométrica da amostra 3.



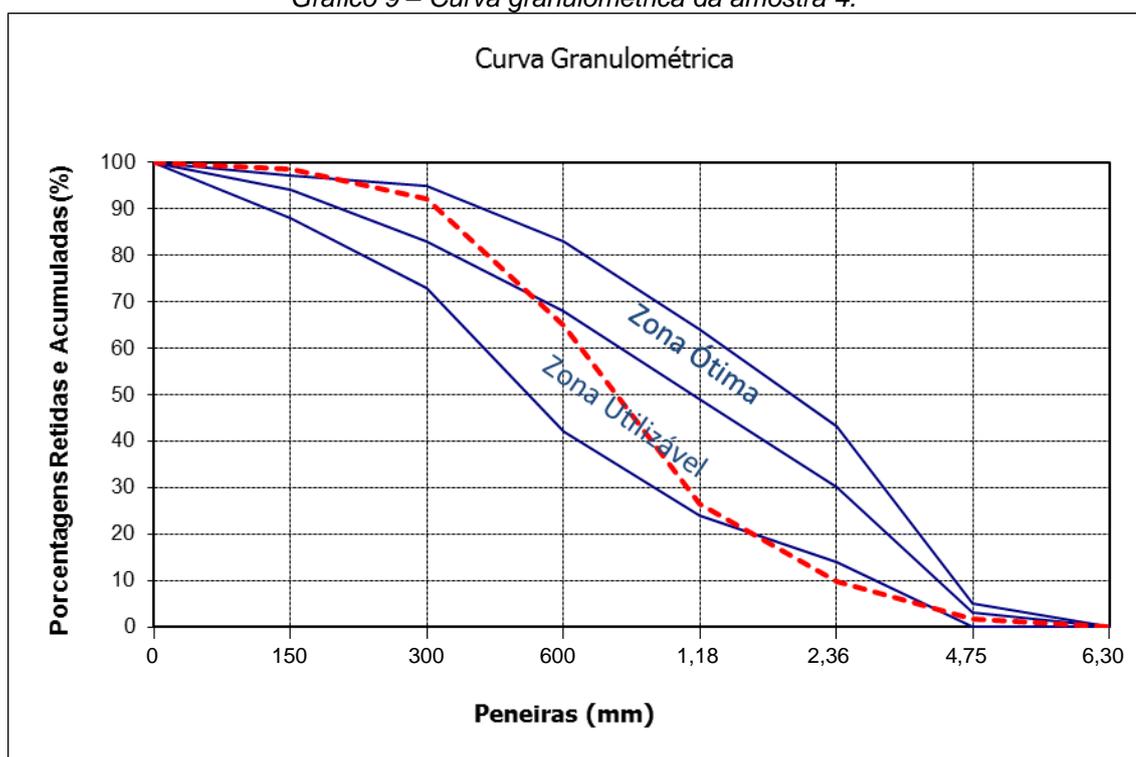
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 11 – Análise granulométrica da amostra 4.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	9,40	1,66	1,66
2,36	45,20	7,98	9,63
1,18	95,70	16,89	26,52
0,6	216,50	38,20	64,73
0,3	155,20	27,39	92,11
0,15	36,20	6,39	98,50
Resíduo	8,50	1,50	
TOTAL	566,70		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 9 – Curva granulométrica da amostra 4.



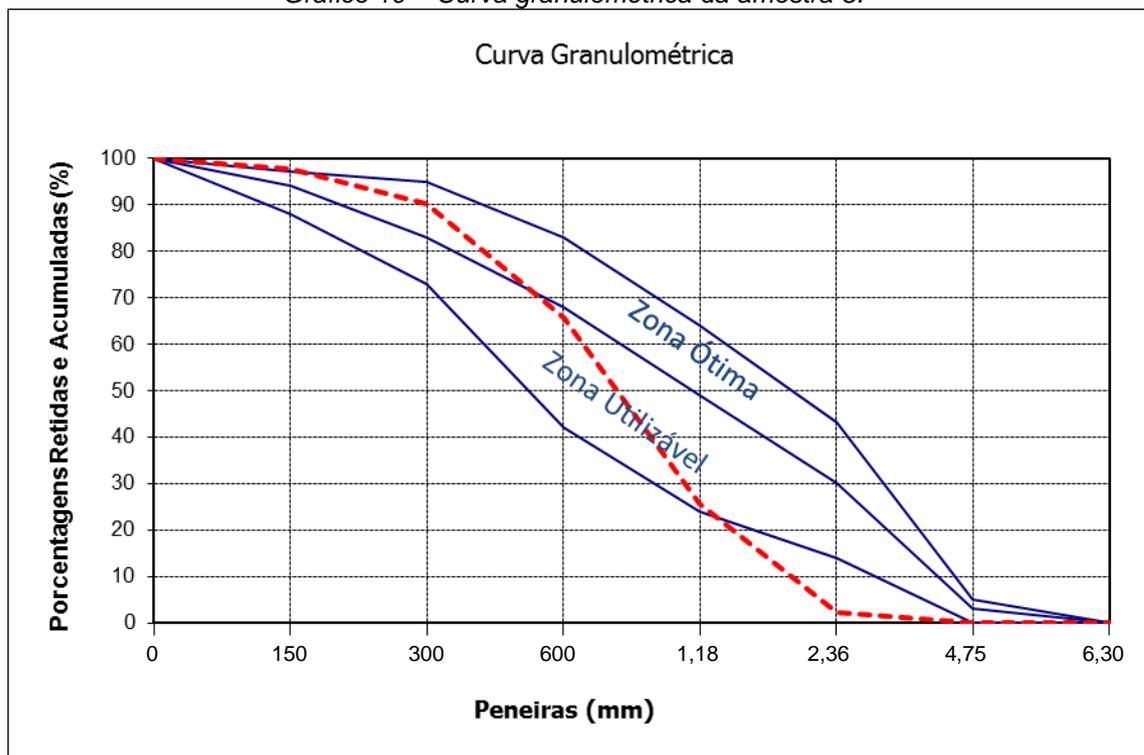
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 12 – Análise granulométrica da amostra 5.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,00	0,00	0,00
2,36	22,30	2,23	2,23
1,18	233,10	23,31	25,54
0,6	401,30	40,13	65,67
0,3	246,10	24,61	90,28
0,15	73,50	7,35	97,63
Resíduo	23,70	2,37	
TOTAL	1000,00		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 10 – Curva granulométrica da amostra 5.



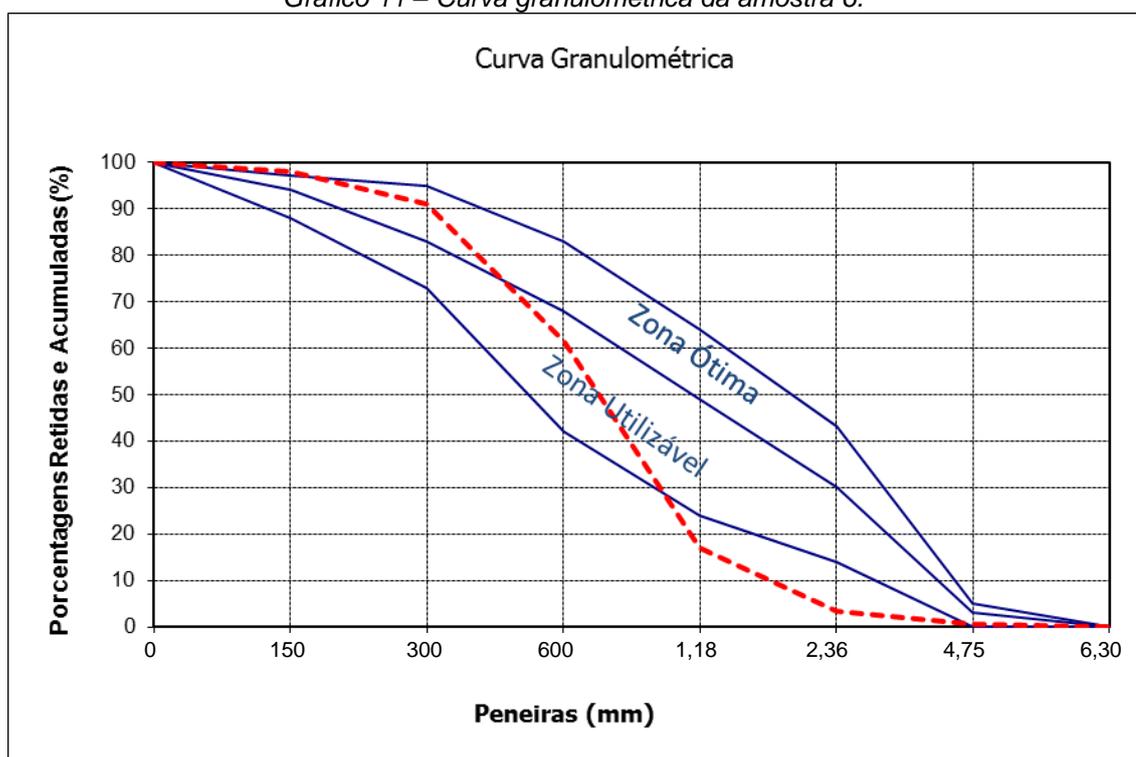
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 13 – Análise granulométrica da amostra 6.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	2,50	0,59	0,59
2,36	12,30	2,88	3,47
1,18	57,90	13,58	17,05
0,6	190,10	44,57	61,62
0,3	124,80	29,26	90,88
0,15	30,30	7,10	97,98
Resíduo	8,60	2,02	
TOTAL	426,50		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 11 – Curva granulométrica da amostra 6.



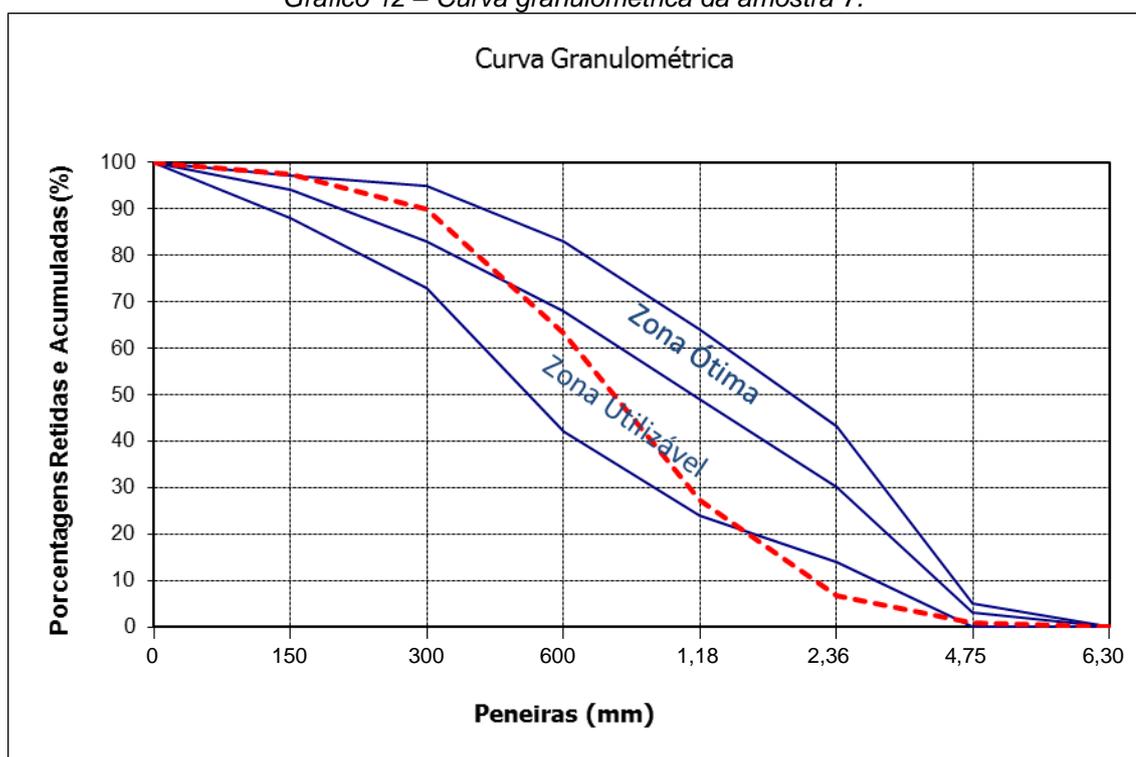
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 14 – Análise granulométrica da amostra 7.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	3,60	0,70	0,70
2,36	31,10	6,04	6,74
1,18	105,20	20,42	27,15
0,6	186,20	36,14	63,30
0,3	136,90	26,57	89,87
0,15	38,10	7,40	97,26
Resíduo	14,10	2,74	
TOTAL	515,20		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 12 – Curva granulométrica da amostra 7.



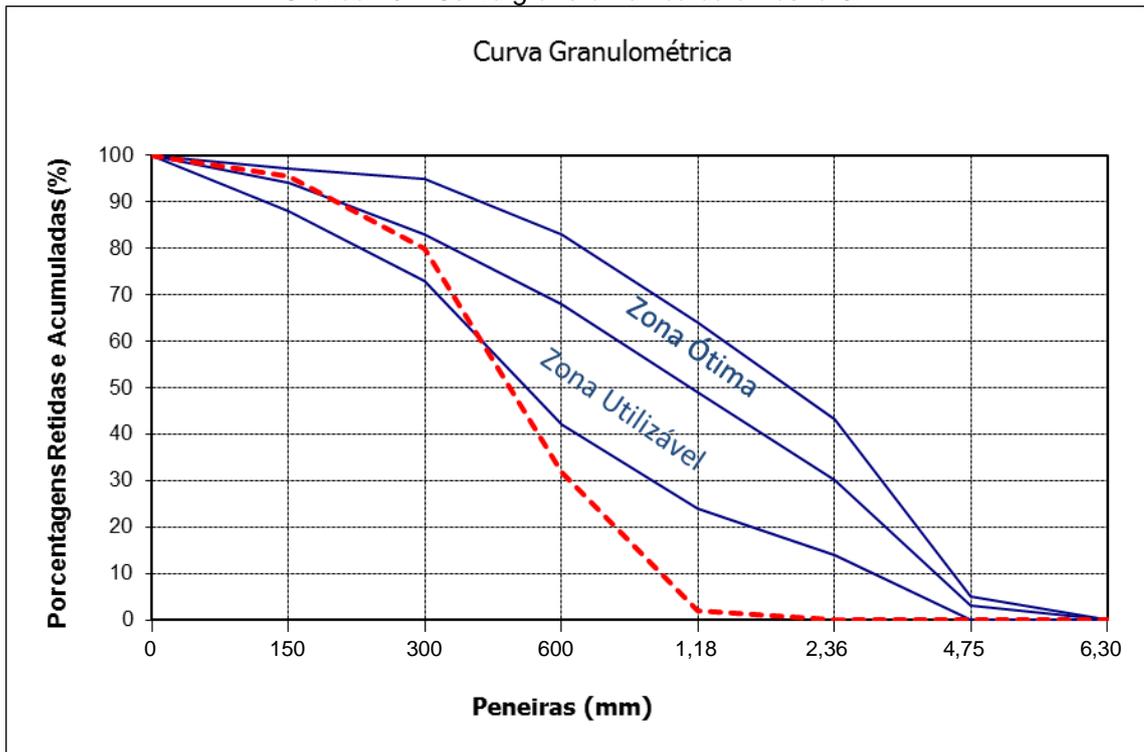
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 15 – Análise granulométrica da amostra 8.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,00	0,00	0,00
2,36	0,50	0,06	0,06
1,18	15,00	1,90	1,96
0,6	235,00	29,73	31,69
0,3	380,00	48,07	79,76
0,15	125,00	15,81	95,57
Resíduo	35,00	4,43	
TOTAL	790,50		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 13 – Curva granulométrica da amostra 8.



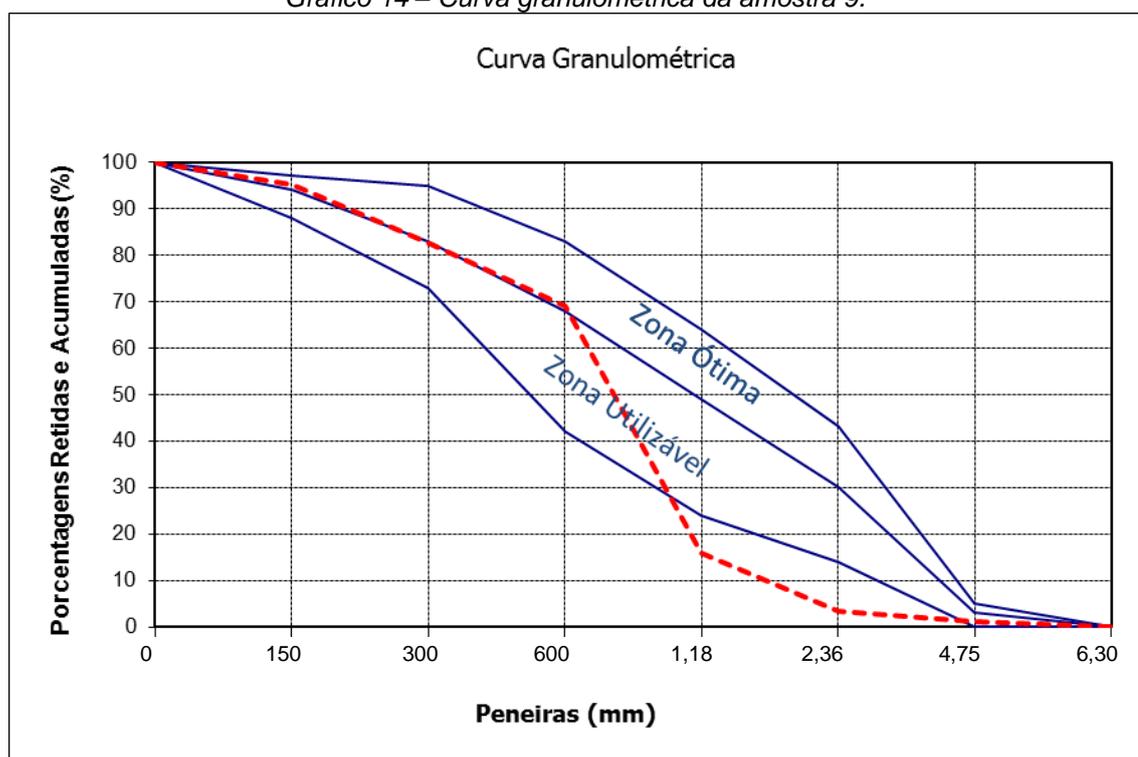
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 16 – Análise granulométrica da amostra 9.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	14,00	1,23	1,23
2,36	25,00	2,20	3,43
1,18	140,00	12,31	15,74
0,6	605,00	53,21	68,95
0,3	155,00	13,63	82,59
0,15	143,00	12,58	95,16
Resíduo	55,00	4,84	
TOTAL	1137,00		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 14 – Curva granulométrica da amostra 9.



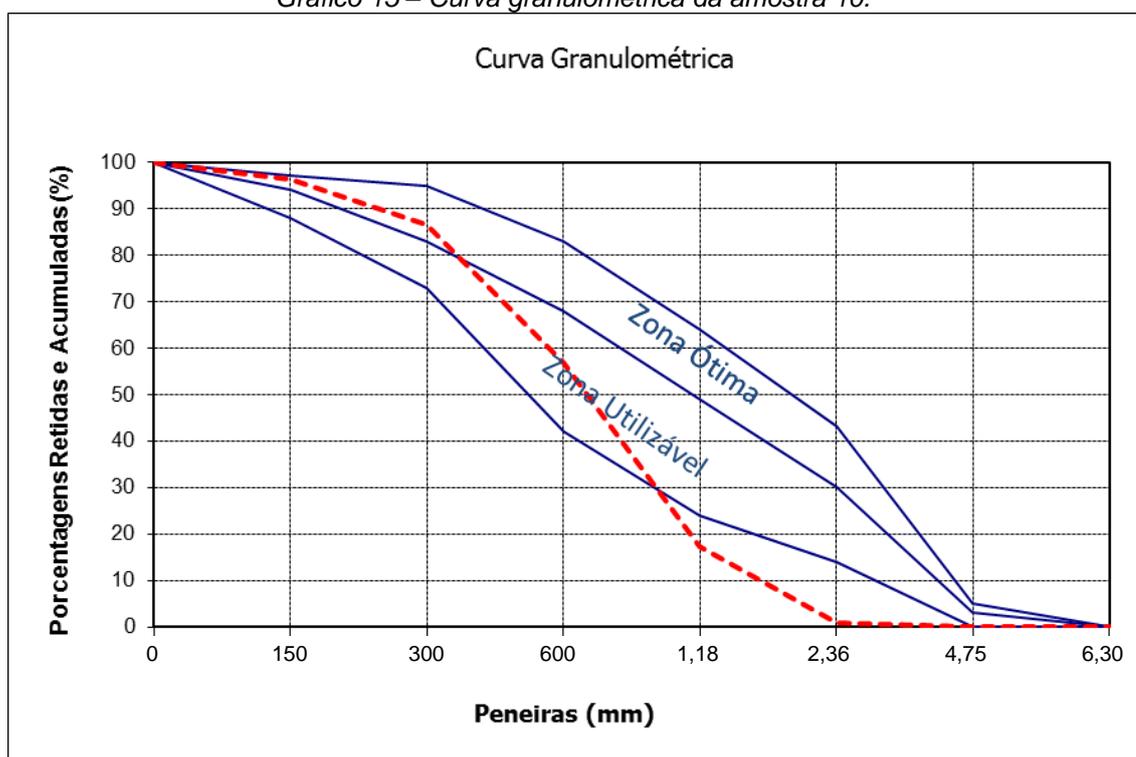
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 17 – Análise granulométrica da amostra 10.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,00	0,05	0,05
2,36	7,70	0,77	0,82
1,18	164,20	16,41	17,23
0,6	395,90	39,57	56,80
0,3	298,00	29,79	86,59
0,15	95,90	9,59	96,17
Resíduo	38,30	3,83	
TOTAL	1000,00		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 15 – Curva granulométrica da amostra 10.



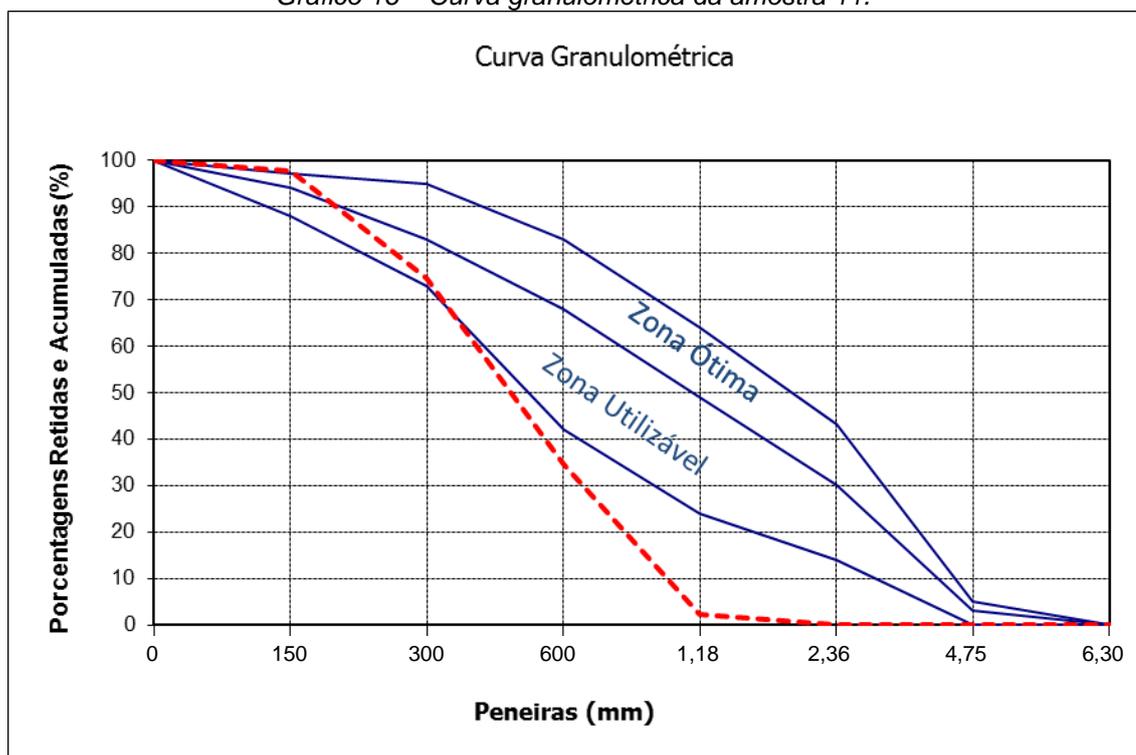
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 18 – Análise granulométrica da amostra 11.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,00	0,00	0,00
2,36	0,50	0,08	0,08
1,18	15,00	2,25	2,33
0,6	215,00	32,31	34,64
0,3	265,00	39,82	74,46
0,15	155,00	23,29	97,75
Resíduo	15,00	2,25	
TOTAL	665,50		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 16 – Curva granulométrica da amostra 11.



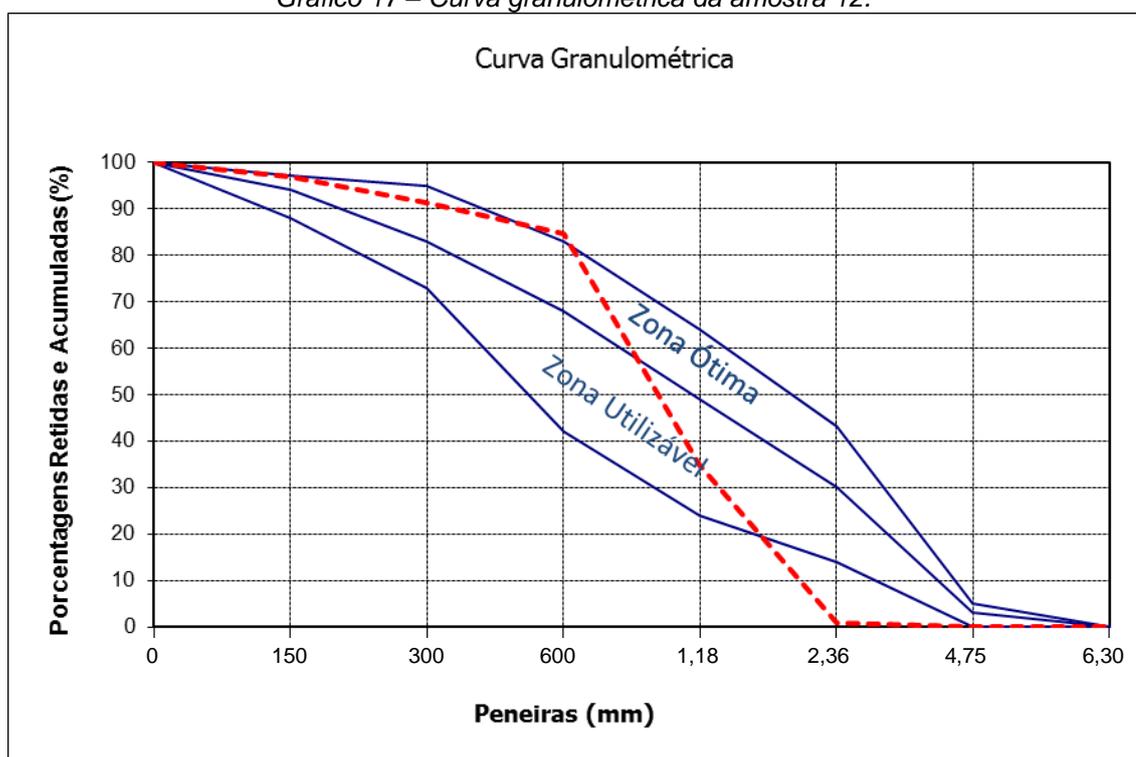
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 19 – Análise granulométrica da amostra 12.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,50	0,04	0,04
2,36	11,50	0,91	0,95
1,18	428,00	33,86	34,81
0,6	630,00	49,84	84,65
0,3	85,00	6,72	91,38
0,15	69,00	5,46	96,84
Resíduo	40,00	3,16	
TOTAL	1264,0		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 17 – Curva granulométrica da amostra 12.



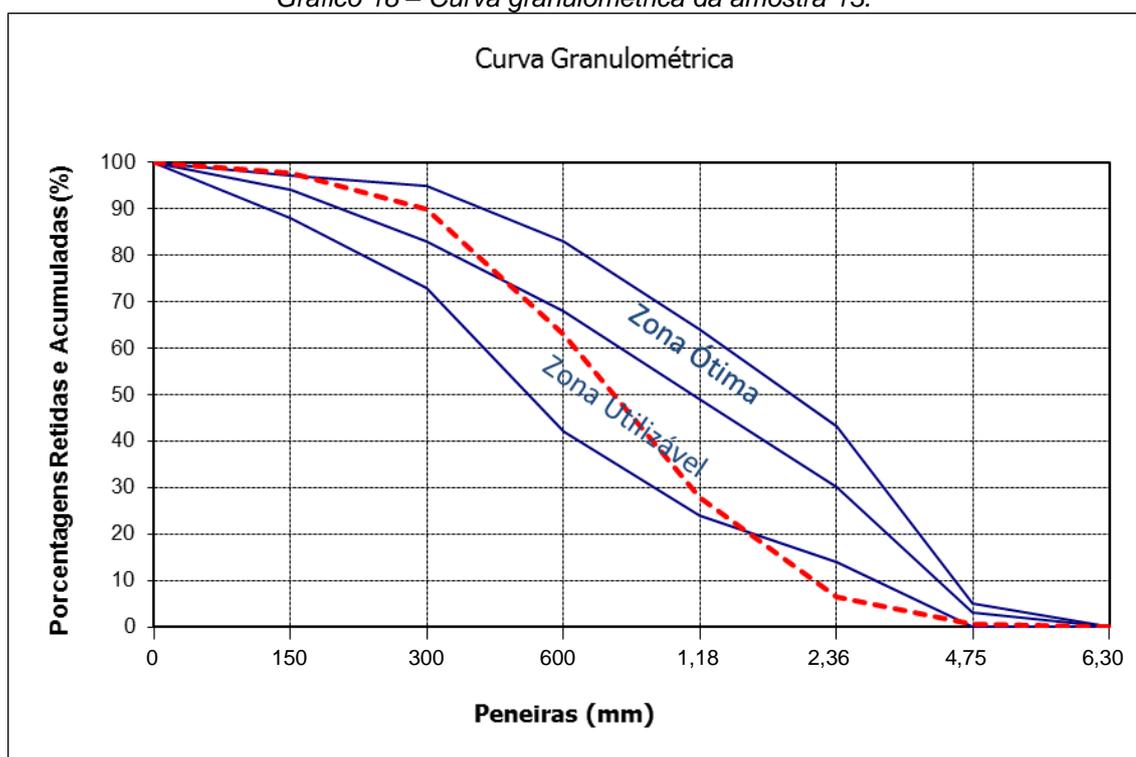
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 20 – Análise granulométrica da amostra 13.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	2,70	0,60	0,60
2,36	25,40	5,69	6,29
1,18	96,00	21,51	27,80
0,6	157,00	35,17	62,97
0,3	120,50	26,99	89,96
0,15	34,10	7,64	97,60
Resíduo	10,70	2,40	
TOTAL	446,40		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 18 – Curva granulométrica da amostra 13.



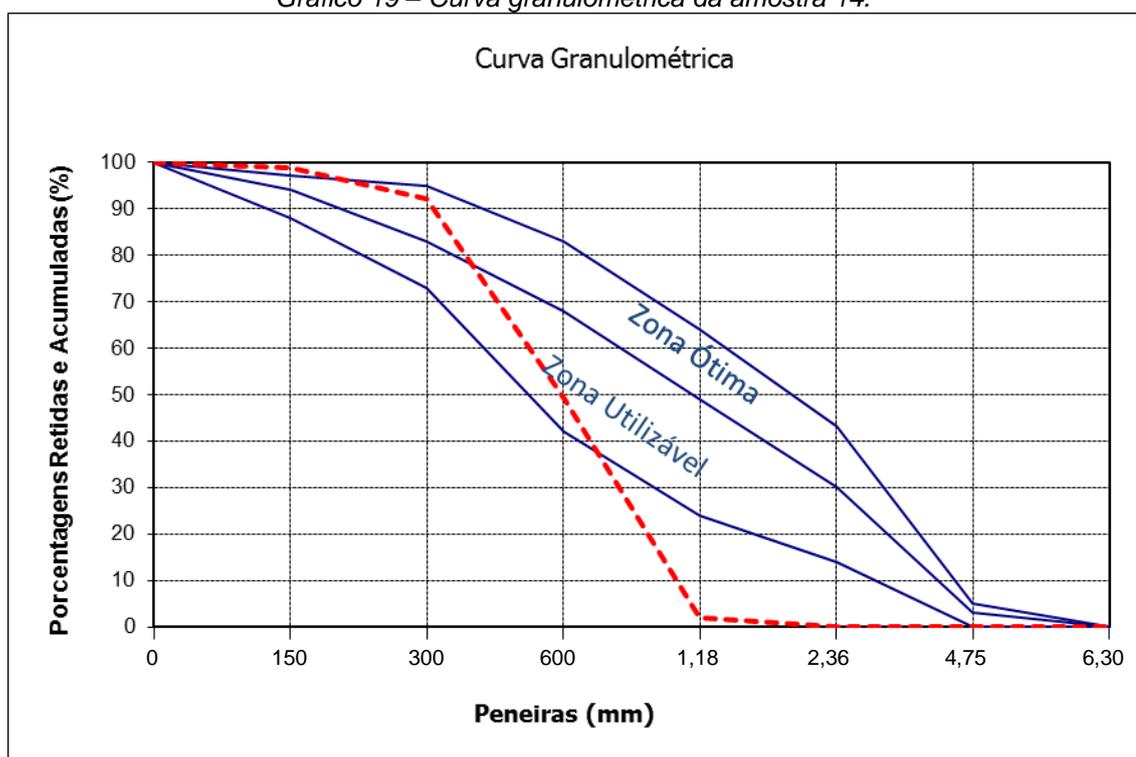
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 21 – Análise granulométrica da amostra 14.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	0,00	0,00	0,00
2,36	0,20	0,04	0,04
1,18	11,10	2,02	2,06
0,6	259,90	47,30	49,35
0,3	234,30	42,64	91,99
0,15	36,80	6,70	98,69
Resíduo	7,20	1,31	
TOTAL	549,50		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 19 – Curva granulométrica da amostra 14.



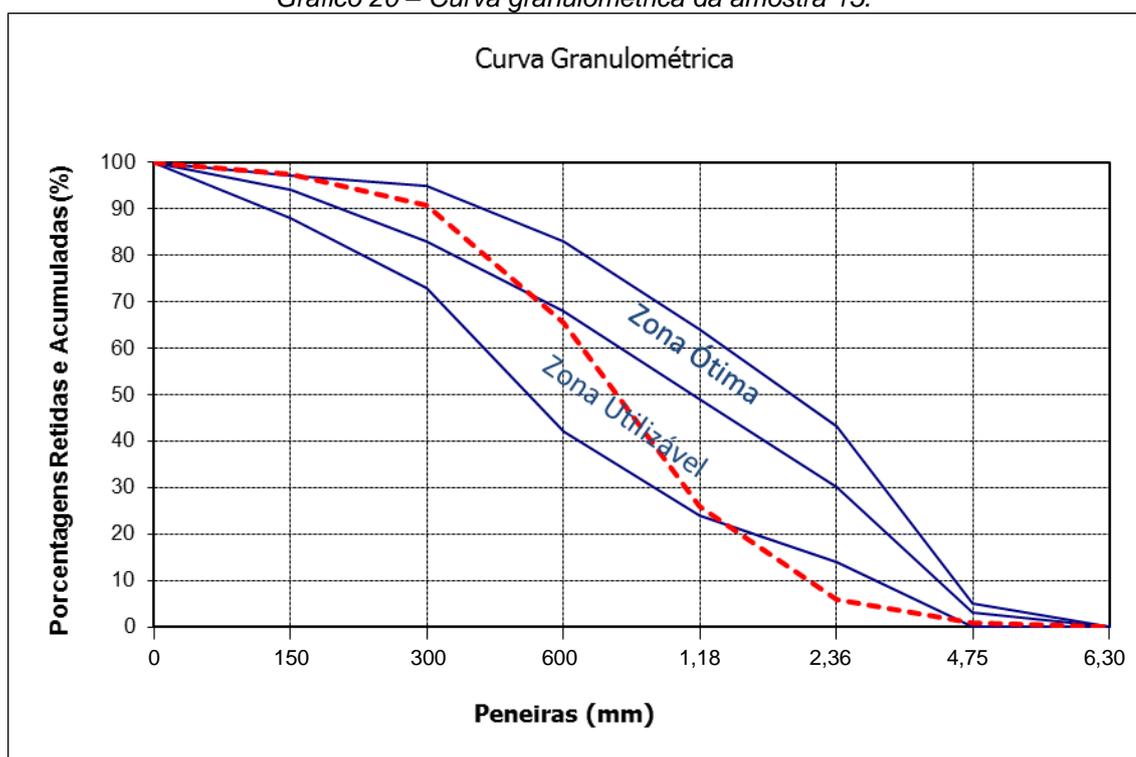
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 22 – Análise granulométrica da amostra 15.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	3,40	0,75	0,75
2,36	22,70	4,99	5,74
1,18	91,80	20,17	25,91
0,6	179,90	39,53	65,44
0,3	114,50	25,16	90,60
0,15	31,00	6,81	97,41
Resíduo	11,80	2,59	
TOTAL	455,10		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 20 – Curva granulométrica da amostra 15.



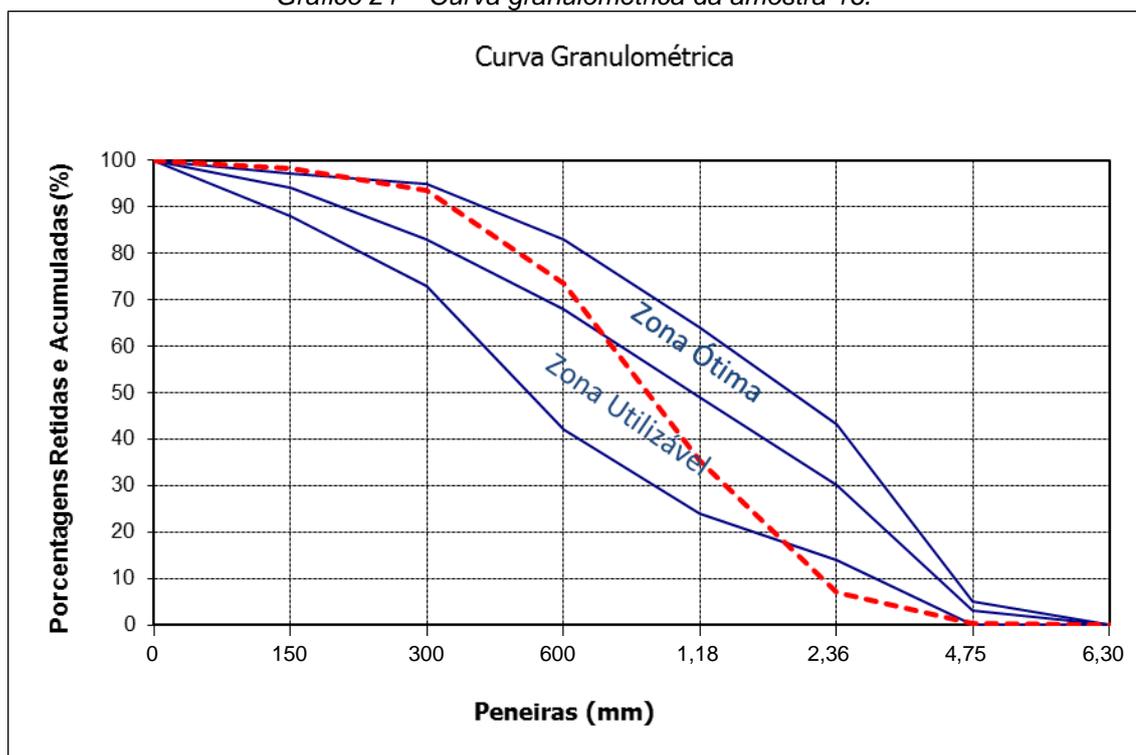
Fonte: LABEME, 2014.

Tabela 23 – Análise granulométrica da amostra 16.

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	%Retida	% Retida acumulada
4,75	2,00	0,33	0,33
2,36	40,50	6,58	6,91
1,18	175,00	28,45	35,35
0,6	234,70	38,15	73,50
0,3	122,80	19,96	93,47
0,15	30,00	4,88	98,34
Resíduo	10,20	1,66	
TOTAL	615,20		

Fonte: LABEME, 2014.

Gráfico 21 – Curva granulométrica da amostra 16.



Fonte: LABEME, 2014.

ANEXO B REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Figura 24 – Equipamento para realização da sondagem.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



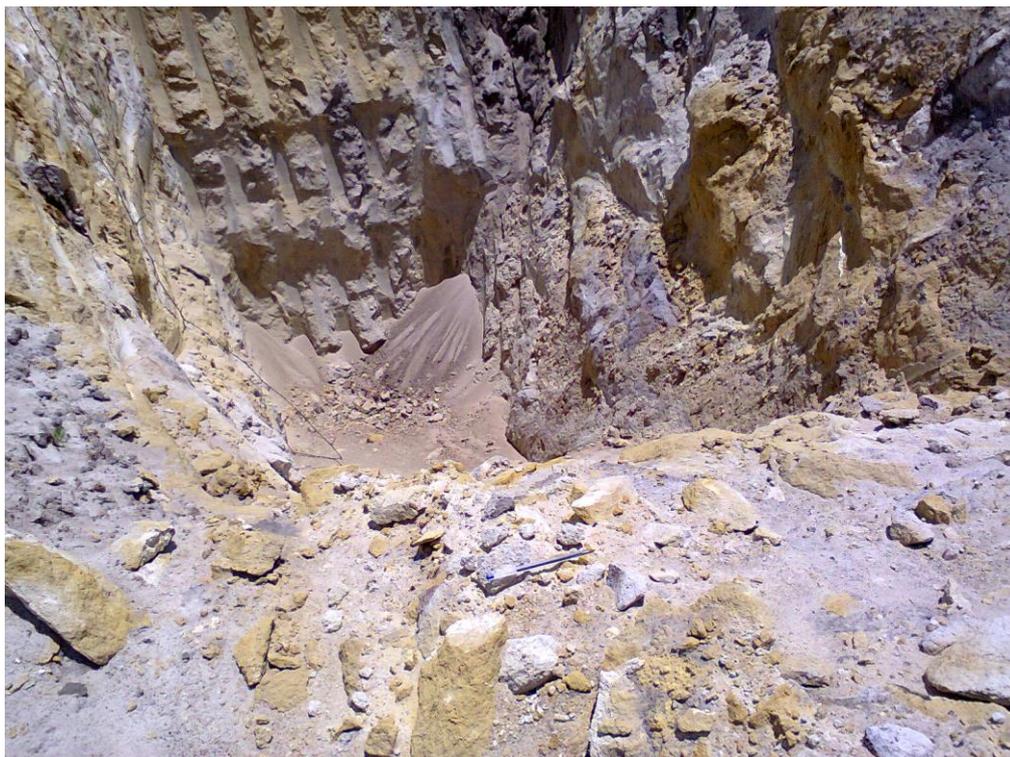
*Figura 25 – Escavações mostrando o perfil do solo.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



*Figura 26 – Escavações mostrando o perfil do solo.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



*Figura 27 – Escavações mostrando o perfil do solo.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



*Figura 28 – Escavações mostrando o perfil do solo.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



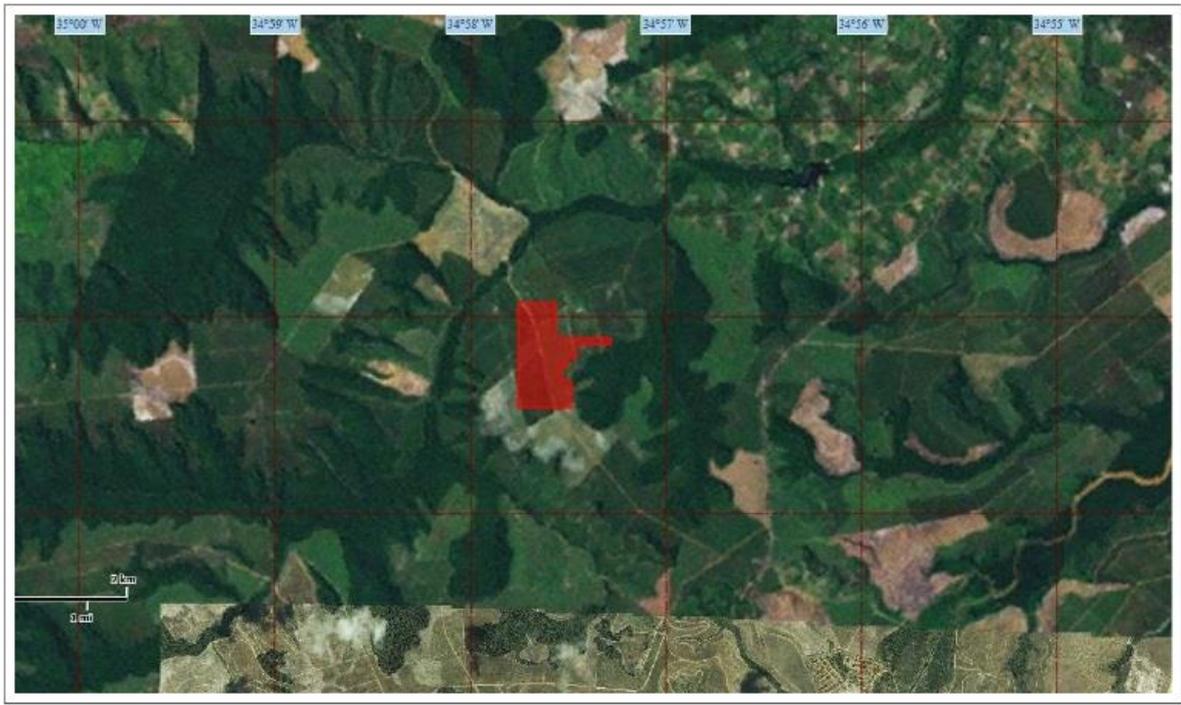
*Figura 29 – Equipamentos fazendo o carregamento do material.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



*Figura 30 – Vista da jazida.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



*Figura 31 – Vista da jazida.
Fonte: Lira, B. B. 2014.*



Data: 23/03/2015

Área Requerida
DNPM

*Figura 32 – Área requerida para implantação da jazida.
Fonte: SIGMINE – DNPM.*