

MAURICIO PETTINATO LUCIO

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AREIAS DE
SUBAÚMA (IGUAPE - SP) PARA
EMPREGO EM CONCRETOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia.

CONSULTA
FD-3604

SÃO PAULO
2003

MAURICIO PETTINATO LUCIO

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AREIAS DE
SUBAÚMA (IGUAPE - SP) PARA
EMPREGO EM CONCRETOS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE MESTRE EM ENGENHARIA**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
ENGENHARIA MINERAL**

**ORIENTADOR:
PROF. DR. LINDOLFO SOARES**

**SÃO PAULO
2003**

01



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Relatório de Defesa

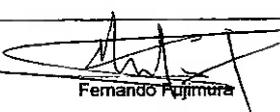
Relatório de defesa pública de Dissertação do(a) Senhor(a) Mauricio Pettinato Lucio no Programa: Engenharia Mineral, do(a) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Aos 20 dias do mês de janeiro de 2004, no(a) EPUSP realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Mauricio Pettinato Lucio, intitulada: "Caracterização tecnológica das areias de subaúma (Iguape - SP) para emprego em concretos" apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia - Área: Engenharia Mineral. Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

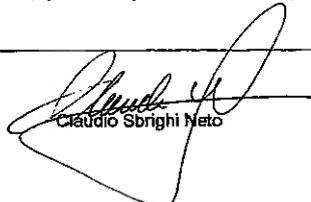
Nome dos Participantes da Banca	Vínculo do Docente	Sigla da Unidade	Resultado
Lindolfo Soares	Presidente	EP	Aprovado
Fernando Fujimura	Titular	EP	Aprovado
Claudio Sbrighi Neto	Titular	Docente Externo	Aprovado
Resultado Final: Aprovado			

Parecer da Comissão Julgadora (opcional)

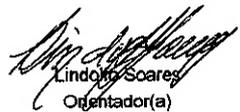
Eu, Elisabete Aparecida F da Silva Ramos, Técnica Acadêmica, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 20 dias do mês de janeiro de 2004.



Fernando Fujimura



Claudio Sbrighi Neto



Lindolfo Soares
Orientador(a)

Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

Nos termos do artigo 110, do RG-USP, encaminhe-se o presente relatório à CPG, para homologação.

20/01/2004 11:06:00

94p.

Agradeço

À minha família, Papa, Mamma e Dani pelo suporte em todos os momentos e especialmente ao meu irmão Guga, pela ajuda na formatação deste trabalho. Ao Prof. Dr. Lindolfo Soares pela orientação, estímulo e amizade. À Dra. Lília, aos colegas da MGA e ao pessoal de Registro, em especial ao Akimoto, Marcílio e Pablo, pelo apoio durante estes anos de pesquisa, sem o qual este trabalho não seria possível. Ao Pedro do IPT, Eliana do LCT - EPUSP e Alfredo do LTM - EPUSP pelo auxílio nas etapas de laboratório.

RESUMO

Os depósitos de areia da Formação Cananéia (Pleistoceno), no Litoral Sul do Estado de São Paulo, foram intensamente explorados no passado para abastecer o mercado de areia quartzosa para indústria vidreira. No começo da década de 90, a extração de areia industrial nesta região foi gradativamente perdendo seu espaço para jazidas de outras regiões do Estado. Atualmente, com o advento de avanços tecnológicos nos métodos de extração e beneficiamento da areia, e com a evolução da indústria da construção civil, estes depósitos apresentam potencial para produção de areia para utilização como agregado miúdo para concretos e argamassas. Motivado por esses fatores, este trabalho apresenta a caracterização da jazida da Mineração Corrêa (Iguape, SP), considerando aspectos como geologia, estratigrafia, modelo deposicional e volumes de areia. Apresenta, também, a caracterização tecnológica da areia, no que diz respeito aos seus parâmetros tecnológicos e índices de qualidade do agregado após o beneficiamento, e, por fim, avalia seu desempenho como agregado miúdo em concreto.

ABSTRACT

The sand deposits of the Cananéia Formation (Pleistocene) on the south coast of State of São Paulo were intensely exploited in the past to supply the glass industry sand market. In the early 90's, the exploitation of industrial sand in this region gradually lost space for deposits located in other regions of the State. Nowadays, with the advance in mining technics and evolution of the civil construction industry, these deposits represent potencial sources of sand for use as fine aggregate for concrete and mortar. Considering these factors, this study presents a characterization of the sand deposit of the Mineração Corrêa (Iguape, SP), including aspects such as geology, stratigraphy, depositional model and sand volumes. It also presents the determination of technological parameters of the sand and quality factors of the aggregate produced after processing, and, finally, an evaluation of it's performance as fine aggregate for concrete.

ERRATA

Página 5:

Na coluna 3 do diagrama, substituir “*elaboração*” por “*confeção*”.

Página 6:

Substituir o título do capítulo 3 de “*Considerações preliminares*” para “*Considerações gerais*”.

Página 7

Substituir o primeiro parágrafo do item 3.2 por:

“Nos concretos e argamassas, o agregado desempenha o papel de um “filler” que, junto com os ligantes, fornece resistência à mistura. Os ligantes desempenham o papel de cola que une os grãos do agregado, preenchendo os espaços vazios entre estes. A resistência do produto final depende, além de outros fatores, da resistência intrínseca dos grãos que compõem o agregado.”

Página 9

Na linha 1, substituir “*este mal atinge*” por “*não chega a*”.

Página 19

Na linha 8, substituir “*altitude*” por “*cota*”.

Página 24

Nas linhas 15 e 21, substituir “*estágio*” por “*estádio*”.

Página 28

Substituir o título do item 5.3. de “*Geometria do corpo mineralizado*” para “*Geometria da jazida*”.

Na linha 16, substituir “*do corpo mineralizado*” por “*da jazida*”.

Página 34

Na linha 16, substituir “*De acordo com Valverde (1997), a...*” por “*A dragagem em ...*”

Página 37

Substituir o primeiro parágrafo do item 6.3 por:

“Classificação é um processo de separação sólido-sólido de partículas em frações. A principal propriedade explorada no processo de classificação é a velocidade relativa das partículas em um meio fluido. Os classificadores são projetados de maneira que as velocidades absolutas resultantes das forças aplicadas induzem as partículas a serem agrupadas em dois produtos tecnicamente separáveis, um contendo uma proporção significativamente maior de partículas finas e outro contendo uma proporção significativamente maior de partículas mais grossas.”

Página 86

Na linha 2, substituir a frase “*Assim sendo, deduz-se que... resistência do concreto,*” pela frase “*Assim sendo, deduz-se que esta característica influi diretamente na resistência das argamassas, provocando as diferenças nos resultados obtidos para as três amostras.*”

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	2
2.1. OBJETIVOS	2
2.2. JUSTIFICATIVA	2
2.3. METODOLOGIA	3
3. INFORMAÇÕES GERAIS	6
3.1. DEFINIÇÕES E CONCEITOS	6
3.2. ESPECIFICAÇÕES	7
3.3. O MERCADO DE AREIA NO ESTADO DE SÃO PAULO	8
3.3.1. <i>As regiões produtoras</i>	9
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	10
4.2. GEOMORFOLOGIA.....	10
4.3. GEOLOGIA REGIONAL	14
4.4. CLIMA	19
4.5. VEGETAÇÃO.....	20
4.6. ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS.....	21
5. CARACTERIZAÇÃO DA JAZIDA	22
5.1. MODELO DEPOSICIONAL.....	22
5.1.1. <i>Introdução</i>	22
5.1.2. <i>História evolutiva e gênese da jazida</i>	24
5.2. CAMPANHAS DE SONDAGEM À PERCUSSÃO MANUAL.....	26
5.2.1. <i>Primeira campanha</i>	26
5.2.2. <i>Segunda campanha</i>	26
5.2.3. <i>Considerações sobre a precisão da locação dos furos com GPS</i>	26
5.3. GEOMETRIA DO CORPO MINERALIZADO.....	28
5.4. RESERVAS MINERAIS	31
5.5. PRODUÇÃO E VIDA ÚTIL	33
6. MÉTODO DE LAVRA E BENEFICIAMENTO.....	34
6.1. LAVRA EM CAVA SUBMERSA	34
6.2. BENEFICIAMENTO.....	35
6.2.1. <i>Lavagem e desagregação</i>	36
6.2.2. <i>Peneiramento</i>	36
6.2.3. <i>Classificação</i>	37
6.2.4. <i>Desaguamento</i>	38
6.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MINERAÇÃO DE AREIA E O MEIO AMBIENTE	39
7. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	42
7.1. INTRODUÇÃO	42
7.2. AMOSTRAGEM	45

7.3. PARÂMETROS TECNOLÓGICOS	46
7.3.1. <i>Composição granulométrica</i>	46
7.3.1.1 Coeficiente de uniformidade e distribuição granulométrica ideal.....	52
7.3.1.2 Módulo de finura e dimensão máxima característica.....	55
7.3.2. <i>Composição mineralógica</i>	57
7.3.3. <i>Forma e textura superficial dos grãos</i>	59
7.3.3.1 Forma dos grãos.....	60
7.3.3.2 Textura superficial.....	62
7.3.4. <i>Massa específica</i>	69
7.3.5. <i>Massa unitária</i>	70
7.4. ÍNDICES DE QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO	72
7.4.1. <i>Absorção de água</i>	72
7.4.2. <i>Impurezas orgânicas</i>	74
7.4.3. <i>Argila em torrões e materiais pulverulentos</i>	77
7.4.4. <i>Partículas mecanicamente frágeis</i>	80
8. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AGREGADO NO CONCRETO	82
8.1. INTRODUÇÃO	82
8.2. MÉTODO DE ENSAIO	82
9. CONCLUSÕES.....	87
9.1. SUGESTÃO DE CONTINUIDADE DO ESTUDO.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FOTOS

FOTO 1 - FOTOGRAFIA AÉREA (SEM ESCALA) DA REGIÃO DE SUBAÚMA.	16
FOTO 2 - CAMADAS DE COLORAÇÃO BRANCA E PRETA AFLORANTES NA CAVA DA MINERAÇÃO.	16
FOTO 3 - VISTA GERAL DA ÁREA DE LAVRA DA MINERAÇÃO CORRÊA (VISTA DE NE PARA SW).	29
FOTO 4 - VISTA PARCIAL DA CAVA DA MINERAÇÃO CORRÊA E DA ÁREA DE LAVRA (VISTA DE SW PARA NE).	29
FOTO 5 - AFLORAMENTO DE CAMADA ARENOSA BRANCA NA EXTREMIDADE NE DA ÁREA DE LAVRA.	30
FOTO 6 - DRAGA PARA EXTRAÇÃO DE AREIA NA MINERAÇÃO CORRÊA.	35
FOTO 7 - MATERIAL SEPARADO POR PENEIRA ESTÁTICA.	37
FOTO 8 - CAIXAS DE SEDIMENTAÇÃO DA MINERAÇÃO CORRÊA.	38
FOTO 9 - COLETA DE AREIA SENDO REALIZADA EM UMA DAS PILHAS DE ESTOCAGEM.	46
FOTO 10 - ESTUFA UTILIZADA PARA A SECAGEM DAS AMOSTRAS.	48
FOTO 11 - PILHA DE HOMOGENEIZAÇÃO DA AMOSTRA E SEPARAÇÃO DAS ALÍQUOTAS.	48
FOTO 12 - MATERIAL PASSANTE NA PENEIRA MESH #100 (0,15 MM).	63
FOTO 13 - MATERIAL PASSANTE NA PENEIRA MESH #100 (0,15 MM).	63
FOTO 14 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #100 (0,15 MM) E #48 (0,3 MM).	64
FOTO 15 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #100 (0,15 MM) E #48 (0,3 MM).	64
FOTO 16 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #48 (0,3 MM) E #28 (0,6 MM).	65
FOTO 17 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #48 (0,3 MM) E #28 (0,6 MM).	65
FOTO 18 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #28 (0,6 MM) E #14 (1,2 MM).	66
FOTO 19 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #28 (0,6 MM) E #14 (1,2 MM).	66
FOTO 20 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #14 (1,2 MM) E #8 (2,4 MM).	67
FOTO 21 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #14 (1,2 MM) E #8 (2,4 MM).	67
FOTO 22 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #8 (2,4 MM) E #4 (4,8 MM).	68
FOTO 23 - FAIXA GRANULOMÉTRICA ENTRE AS MALHAS MESH #8 (2,4 MM) E #4 (4,8 MM).	68
FOTO 24 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.	69
FOTO 25 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA.	71
FOTO 26 - RESULTADO DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS.	76
FOTO 27 - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA EM TORRÕES.	80
FOTO 28 - MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA.	83

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DE ESTUDO DAS AREIAS DE SUBAÚMA.....	5
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSOS À ÁREA DE ESTUDO	11
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA PLANÍCIE COSTEIRA	13
FIGURA 4 - IMAGENS DE SATÉLITE DA REGIÃO ESTUDADA	15
FIGURA 5 - MAPA GEOLÓGICO REGIONAL	17
FIGURA 6 - MAPA GEOLÓGICO DE DETALHE	18
FIGURA 7 - MODELO EVOLUTIVO DE SEDIMENTAÇÃO	25
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DOS POLÍGONOS DE CUBAGEM, RESERVAS MINERAIS E FUROS DE SONDAÇÃO	27
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DO MÓDULO DE FINURA NOS FUROS DE SONDAÇÃO DA PRIMEIRA CAMPANHA	31
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DA MINERAÇÃO CORRÊA	40
FIGURA 11 - DIAGRAMA ILUSTRATIVO DAS INTERRELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO E PROPRIEDADES DO CONCRETO	44
FIGURA 12 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SUB-001	49
FIGURA 13 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SUB-002	50
FIGURA 14 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SUB-003	51
FIGURA 15 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA	52
FIGURA 16 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA IDEAIS PARA ADENSAMENTO MÁXIMO	55
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS E CURVAS IDEAIS DE ADENSAMENTO MÁXIMO	56
FIGURA 18 - GRAU DE ARREDONDAMENTO E ESFERICIDADE DOS GRÃOS	60
FIGURA 19 - CLASSES DE FORMA DE AGREGADOS.....	61
FIGURA 20 - EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAxIAL DA AMOSTRA SUB-001	85
FIGURA 21 - EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAxIAL DA AMOSTRA SUB-002	85
FIGURA 22 - EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAxIAL DA AMOSTRA SUB-003	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESERVAS MINERAIS DA JAZIDA DA MINERAÇÃO CORRÊA.....	33
TABELA 2 - LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DE AGREGADO MIÚDO.....	47
TABELA 3 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SUB-001.....	49
TABELA 4 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SUB-002.....	50
TABELA 5 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA SUB-003.....	51
TABELA 6 - COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE.....	53
TABELA 7 - DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (D _{MÁX}).....	56
TABELA 8 - MÓDULOS DE FINURA.....	57
TABELA 9 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA AREIA ESTUDADA.....	58
TABELA 10 - MASSA UNITÁRIA.....	72
TABELA 11 - CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	74
TABELA 12 - TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	77
TABELA 13 - TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS.....	79
TABELA 14 - TEOR DE ARGILA EM TORRÕES.....	80
TABELA 15 - TRAÇOS ADOTADOS NO PREPARO DAS ARGAMASSAS.....	83
TABELA 16 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS.....	84
TABELA 17 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS.....	84

ABREVIACÕES

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

AMAVRI - ASSOCIAÇÃO DOS MINERADORES DE AREIA DO VALE DO RIBEIRA

ASTM - *AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL*

CMN - *COMITÉ MERCOSUR DE NORMALIZACION*

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

EPUSP - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

GPS - *GLOBAL POSITIONING SYSTEM*

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

LCT - LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

LTM - LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS

RMSP - REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

1. INTRODUÇÃO

O setor da mineração de agregados, bem como o mercado da construção civil são bastante tradicionalistas, como já citado por Sbrighi Neto (2000). Até recentemente, a areia para fabricação de concreto deveria ser uma areia grossa, enquanto a areia para fabricação de argamassas deveria ser uma areia fina, e, mesmo com o avanço tecnológico, muitos materiais enfrentam resistência para entrar no mercado, como a areia de britagem de rochas ou pó de pedra. Sbrighi Neto (*op. cit.*) afirma, porém, que dentro de limites tecnicamente bem definidos e com aporte de tecnologia muitas vezes simples, as areias finas de origem eólica e as provenientes da britagem de rochas podem ser aproveitadas com sucesso, na produção do concreto. Esta alternativa viabiliza jazidas e materiais anteriormente desvalorizados, gerando postos de trabalho, impostos e empresas bem sucedidas, em regiões muitas vezes sem tradição nesse tipo de produção mineral.

As areias utilizadas como agregado para construção civil no Estado de São Paulo são provenientes, na maior parte das vezes, de depósitos de planícies aluviais, como é o caso das jazidas do Vale do Paraíba na várzea do rio Paraíba do Sul, e de depósitos de calha fluvial, como é o caso das minerações do rio Tietê, do rio Paraná, do rio Grande e do Vale do Ribeira, onde as areias são extraídas de rios como o Ribeira de Iguape, Juquiá, São Lourenço e São Lourencinho.

As areias pleistocênicas da Formação Cananéia foram lavradas desde a década de 40, e participavam, em 1990 (década em que a lavra destas areias começou a declinar), com 40% da produção de areia industrial do Estado de São Paulo (Ferrari, *et. al.* 1990). No bairro de Subaúma, localizado no município de Iguape (Baixo Vale do Ribeira), no litoral sul paulista, há uma jazida de areia que foi lavrada de forma rudimentar na década de 80 para a produção de areia quartzosa para a indústria vidreira e de fundição, e teve sua extração paralisada no ano de 1992. A lavra de areia industrial nesta jazida foi realizada de forma intermitente devido à diversos fatores, dentre os quais os mais importantes foram a concorrência com jazidas de areia industrial de outras regiões (como a “areia rosa” de Analândia e Descalvado) e conflitos ambientais (a existência de grandes áreas recobertas com mata nativa).

Recentemente, com o advento das inovações tecnológicas na extração e beneficiamento de areia e no setor da construção civil, em especial na elaboração de concretos e argamassas, a extração da areia de Subaúma mostra-se novamente viável. Considerando estes fatores, o aproveitamento da jazida de areia está sendo retomado através de uma parceria entre a Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda. e a Corrêa Extração e Comércio de Areia (a mineração será referida neste trabalho apenas como Mineração Corrêa) que opera atualmente as atividades de mineração em escala piloto.

2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

2.1. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a jazida da Mineração Corrêa, quanto à sua geometria, estratigrafia e volume (reservas minerais), partindo-se do princípio que para um adequado planejamento de lavra de quaisquer substâncias deve-se, inicialmente, conhecer o depósito detalhadamente de modo que, tendo em vista o produto almejado, seja possível definir a viabilidade e a melhor forma de explorá-lo.

Ainda como objetivo deste estudo está a caracterização tecnológica (determinação dos parâmetros tecnológicos e índices de qualidade) e avaliação do desempenho da areia, considerando sua utilização como agregado miúdo para concretos.

Nesse contexto, pretende-se contribuir para a identificação e caracterização de novos depósitos de areia com potencial para aproveitamento no setor da construção civil.

2.2. JUSTIFICATIVA

A exigência cada vez maior do mercado quanto às características tecnológicas dos materiais utilizados na construção civil requer uma caracterização detalhada das areias e seus depósitos. Esta caracterização permite, além da determinação do potencial de sua utilização, um melhor planejamento da lavra e do beneficiamento, sempre com a finalidade de se obter um produto final com maior qualidade e valor agregado.

Os depósitos de areia da Formação Cananéia na região de Iguape representam jazidas de importante valor econômico para o mercado da construção civil, que está em constante expansão e avanço tecnológico.

Inicialmente, as areias de Subaúma eram utilizadas apenas como fonte de sílica para a indústria vidreira. A extração era realizada pelo método da “lavra seletiva”, através da remoção mecânica de uma camada superior com adequada distribuição granulométrica, homogeneidade composicional, alto teor de quartzo e boas características mineralógicas para a utilização na fabricação de vidros.

A possibilidade de utilização dessas areias na indústria da construção civil, visando abastecer os mercados da Baixada Santista, Vale do Ribeira e até mesmo da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), motivou este estudo, que pretende aprofundar o

conhecimento da jazida de areia e das características tecnológicas dos produtos que esta mineração pode oferecer ao mercado.

O conhecimento detalhado da gênese do depósito e das características da areia fornecerá, adicionalmente, uma base de dados que contribuirá na identificação de outros usos potenciais que possam agregar maior valor ao produto, seja na indústria da construção civil ou em outro segmento industrial.

2.3. METODOLOGIA

De acordo com Ferreira (1985), em seu estudo das areias finas no preparo de concreto, a utilização de uma determinada areia, até então desconhecida, como agregado em um concreto ou argamassa de cimento com finalidade estrutural, não pode prescindir de um estudo experimental, no qual se verifiquem as condições especificadas na norma NBR 7211 (ABNT, 1983). A determinação da composição granulométrica e das substâncias nocivas presentes no material são prescrições importantes e fornecem as primeiras indicações sobre o provável desempenho que possa ter essa areia como agregado.

O presente estudo foi iniciado com a caracterização da jazida, envolvendo técnicas de campo, como mapeamento de superfície, análise de imagens de satélite, fotografia aérea, mapas geológicos, geomorfológicos e topográficos. Dados provenientes de 34 furos de sondagem executados pela Mineração Corrêa em duas campanhas distintas contribuíram para o conhecimento do comportamento do depósito em profundidade.

Alguns cortes existentes na área, resquícios da lavra seletiva realizada no passado, bem como os taludes expostos na cava atual, são as únicas formas de afloramento das camadas sedimentares, e permitem a identificação de estruturas sedimentares, contribuindo para a visualização espacial e tridimensional das camadas de interesse.

Os dados obtidos foram compilados de modo que se pudesse elaborar um modelo de distribuição das camadas sedimentares identificadas nas campanhas de sondagem, que serviu como base para o cálculo das reservas minerais e uma estimativa da vida útil da jazida, considerando o volume de produção do agregado previsto na mineração.

Atualmente, são produzidos três tipos de agregado na Mineração Corrêa, denominados comercialmente como: “areia fina”, “areia fina-média” e “areia média-grossa”. Estas areias são classificadas por meio de caixas de sedimentação e estocadas em pilhas distintas. As amostras para a execução dos ensaios laboratoriais foram coletadas nessas pilhas de estocagem.

A seqüência dos trabalhos de pesquisa consistiu na caracterização tecnológica das areias. Os ensaios executados em laboratório foram conduzidos tendo em vista a qualificação da areia para uso como agregado em concreto.

Os primeiros parâmetros a serem determinados foram a composição granulométrica, a composição mineralógica, a forma e textura superficial dos grãos e o teor de impurezas orgânicas. Em seguida, foram determinadas outras características, como: massa específica, massa unitária, absorção de água, teor de argila em torrões e teor de materiais pulverulentos.

Os dados referentes à composição mineralógica, forma e textura superficial das partículas foram obtidos a partir de apreciação petrográfica em lupa estereoscópica, bem como a partir de um laudo de análise solicitado pela Mineração Corrêa ao Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT), do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

Por fim, a avaliação do desempenho dessas areias no concreto foi realizada a partir da execução de ensaios de resistência em corpos de prova de argamassa, conforme o ensaio de qualidade de agregado miúdo proposto pela norma NBR 7221 (ABNT, 1987d) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A figura 1 ilustra o fluxograma dos trabalhos de pesquisa conduzidos neste estudo.

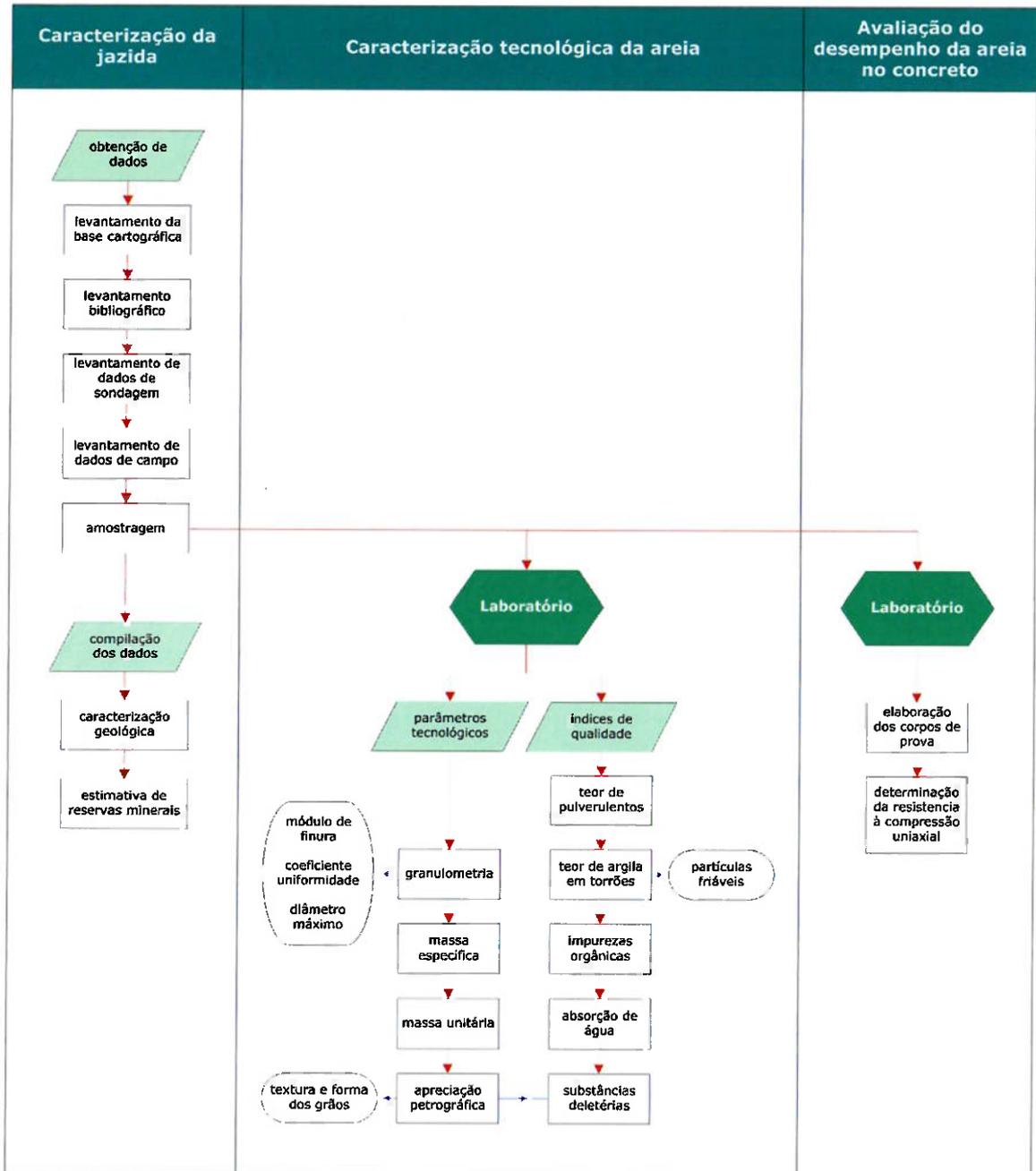


Figura 1 - Fluxograma de estudo das areias de Subaúma.

3. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

3.1. DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Atualmente, apesar dos diversos estudos encontrados na literatura e das propostas de conceituação, os termos “areia” e “agregado miúdo” são ainda muito confundidos. Desta forma, é importante uma abordagem inicial que inclua as definições e conceitos envolvidos com estes dois termos.

No dia-a-dia da indústria da construção civil, o termo “agregado miúdo” poderia ser substituído na linguagem informal por “areia”. Infelizmente, como explicitado por Prentice (1990), o termo “areia” tem implicações que limitam o seu uso. Primeiramente, “areia” implica em uma origem natural – praias e dunas, por exemplo – enquanto que muitos dos materiais utilizados na construção civil podem ser obtidos artificialmente, pela britagem de rochas e até mesmo reciclagem de outros materiais.

“Areia” implica, também, em uma composição mineralógica cujos grãos minerais são compostos principalmente de quartzo. Conforme a definição de Azevedo *et al.* (1990), areia é um bem mineral constituído predominantemente de quartzo, originado a partir de alteração de rochas ricas nesse mineral. Por outro lado, um agregado miúdo artificial pode ser obtido de rochas compostas de outros minerais, como calcário e basalto.

Por fim, a classificação granulométrica adotada pelos sedimentologistas para areia é diferente da usualmente empregada para classificação de agregado miúdo. Como exemplo, a escala granulométrica de Wentworth-Udden define o limite superior da areia em 2 mm. A norma NBR 6491 (ABNT, 1985) define a areia como um material constituído por grãos minerais cuja maioria aparente tem diâmetro máximo superior a 0,05 mm e inferior a 4,8 mm. Por sua vez, segundo a norma NBR 7211 (ABNT, 1983), o agregado miúdo para concreto corresponde a uma determinada faixa granulométrica da substância areia, com dimensões que variam de 0,075 mm a 4,8 mm.

Os depósitos de areia são acumulações dos mais duráveis fragmentos de rochas e grãos de minerais que se destacaram das rochas originais por processos de intemperismo físico, e retrabalhados e classificados pela ação da água (em ambiente fluvial ou marinho) ou dos ventos (Smith & Collis, 1993).

No estudo dos concretos de cimento portland, Petrucci (1971) define “agregado” como o material granular, sem forma e volumes definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. Os naturais são aqueles já

encontrados na natureza sob a forma de agregados, ou seja, areias (quer de mina quer de cursos d'água) e pedregulhos ou seixos rolados. Denominam-se artificiais aqueles que necessitam de um trabalho de afeiçoamento pela ação do homem, a fim de chegar à situação de uso como agregado, como, por exemplo, os agregados obtidos por moagem de fragmentos maiores.

Na definição de Marota & Herubin (1993), o termo “agregado” geralmente se refere à partículas minerais que têm como origem as rochas. São partículas de formas e tamanhos variados, encontradas na natureza como areia, cascalho ou rochas que podem ser britadas em partículas menores.

Desta forma, o termo “agregado miúdo” tem sua definição atrelada ao emprego dado a um determinado material. A areia, cuja definição não considera o destino dado ao material e sim às suas características geológicas (no que diz respeito à sua gênese e propriedades físicas) pode, dentre diversos outros empregos, ser utilizada com agregado miúdo na preparação de concretos e argamassas, e é, atualmente, o material mais amplamente utilizado para este fim.

3.2. ESPECIFICAÇÕES

Na maioria dos usos dados ao agregado, o papel desempenhado por este é de um *filler*, ou seja, um material que preenche um espaço que seria preenchido por ligantes, e fornece resistência à mistura, que de outra forma seria fraca. Todos os ligantes, aos quais o agregado miúdo pode ser incorporado são caracteristicamente pouco resistentes e apenas desempenham o papel de uma cola que une as partículas do agregado. A resistência do produto final (concreto ou argamassa) depende da resistência do agregado (Prentice, 1990).

Considerando, também, que o cimento tem um custo sensivelmente mais elevado que o agregado, a situação ideal é aquela na qual os grãos do agregado preenchem o maior espaço possível numa mistura, resultando, além de um ganho em termos de resistência, numa economia no consumo de cimento.

Para que uma determinada areia possa ser utilizada na construção civil, como agregado miúdo para concretos, argamassas e pavimentação, ela deve apresentar desempenho satisfatório diante das solicitações técnicas impostas ao material. Este desempenho está intimamente vinculado à algumas características importantes, como: composição granulométrica, forma e textura superficial dos grãos, composição mineralógica, tipo e quantidade de substâncias deletérias presentes, absorção de água, massa específica e massa unitária.

As condições específicas para a caracterização dos agregados que viabilizam sua utilização englobam, no mínimo, a determinação de parâmetros tais como granulometria, módulo de finura e presença de substâncias nocivas (torrões de argila, materiais pulverulentos e impurezas orgânicas). Estes parâmetros estão estabelecidos nas normas técnicas em vigor que fixam as características exigidas na recepção e produção dos agregados de origem natural ou resultantes da britagem de rochas, destinados à produção de concretos.

Atualmente, a qualidade da areia utilizada na construção civil é normalizada pela ABNT. A norma NBR 7211 (ABNT, 1983) estipula os parâmetros desejáveis no agregado, para que esse possa ser amplamente utilizado no setor, sem sofrer qualquer tipo de restrição.

Comercialmente, a areia é distribuída, conforme Azevedo *et al.* (1990) segundo a classificação abaixo:

- **areia bruta:** areia que não foi beneficiada;
- **areia lavada:** areia que sofreu processo de limpeza por simples lavagem; e
- **areia graduada:** areia que obedece a uma classificação previamente estabelecida.

Embora largamente utilizada na indústria da construção civil, a areia é também bastante consumida como fonte de sílica por diversos setores industriais (indústria de vidro, fundição, etc).

3.3. O MERCADO DE AREIA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Os agregados para construção civil, de acordo com Valverde (2001), são os insumos minerais mais consumidos no mundo. O nível de consumo de agregados para construção civil é, também, um indicativo da situação econômica e social de um país. Nos EUA, o nível de consumo anual de agregados para construção civil gira em torno de 7,5 toneladas por habitante; nos países europeus, entre 5 e 8 toneladas por habitante. Em contrapartida, no Brasil, o nível de consumo anual está pouco acima de 2 toneladas por habitante.

Valverde (*op. cit.*) afirma, ainda, que os indicativos desse baixo nível de consumo são facilmente observáveis, devido ao enorme déficit habitacional, à malha rodoviária que não suporta a demanda, a falta de saneamento básico, entre outros.

Mesmo dentro do país, a diferença no nível de consumo de agregados é significativa. No Estado de São Paulo, o mais desenvolvido do país, o nível de consumo chega a 4,5 ton/

hab/ano, enquanto em outras regiões metropolitanas como Fortaleza e Salvador, este mal atinge 2 ton/hab/ano. Estes dados demonstram que o nível de consumo de agregados para construção civil está intimamente relacionado com a renda *per capita* de uma região.

3.3.1. As regiões produtoras

O Sumário Mineral de 2002 elaborado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM, 2002) faz um balanço das reservas minerais para diversas substâncias, bem como da sua produção no ano base de 2000. Para a elaboração desse balanço, o DNPM utiliza como base os dados declarados pelos mineradores.

De acordo com o Sumário Mineral de 2002 (DNPM, *op. cit.*), a reserva medida de areia e cascalho no ano de 2000, no Estado de São Paulo, era de 419.971.493 m³, o que corresponde a aproximadamente 60% da reserva nacional. No mesmo ano, a produção de areia e cascalho atingiu 49.082.500 m³, mantendo São Paulo como o primeiro produtor nacional. Estes dados comprovam a importância desses bens minerais na economia estadual.

No Estado de São Paulo, algumas regiões se destacam como grandes pólos produtores de areia para construção civil. Entre elas, pode-se ressaltar o Vale do Paraíba, o Vale do Ribeira, a região de Sorocaba, a região de Campinas e a RMSP. Estes pólos se destacam não apenas pelo volume de areia produzido, mas também por sua localização estratégica com relação ao mercado consumidor.

O Vale do Paraíba é, sem dúvida, o maior pólo produtor de areia do Brasil, respondendo, de acordo com Valverde (2001), por 10% da produção nacional. A maior parte dessa produção abastece a RMSP.

O Vale do Ribeira é uma região que também merece destaque neste trabalho, uma vez que sua produção abastece principalmente o Litoral Sul e Baixada Santista do Estado de São Paulo, e por ser a região abordada na presente pesquisa.

No Estado de São Paulo, o pólo consumidor de maior destaque é, sem dúvida, a RMSP, que, de acordo com DNPM (2003), consumiu um total de 37,5 milhões de toneladas de areia como agregado miúdo em 2002. O agregado miúdo proveniente da britagem de rochas, apesar de estar se tornando cada vez mais competitivo devido a proximidade do centro consumidor, supre apenas 9% deste mercado.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A jazida da Mineração Corrêa localiza-se na planície costeira do litoral sul do Estado de São Paulo, no município de Iguape (bairro de Subaúma), na região denominada Baixo Vale do Ribeira.

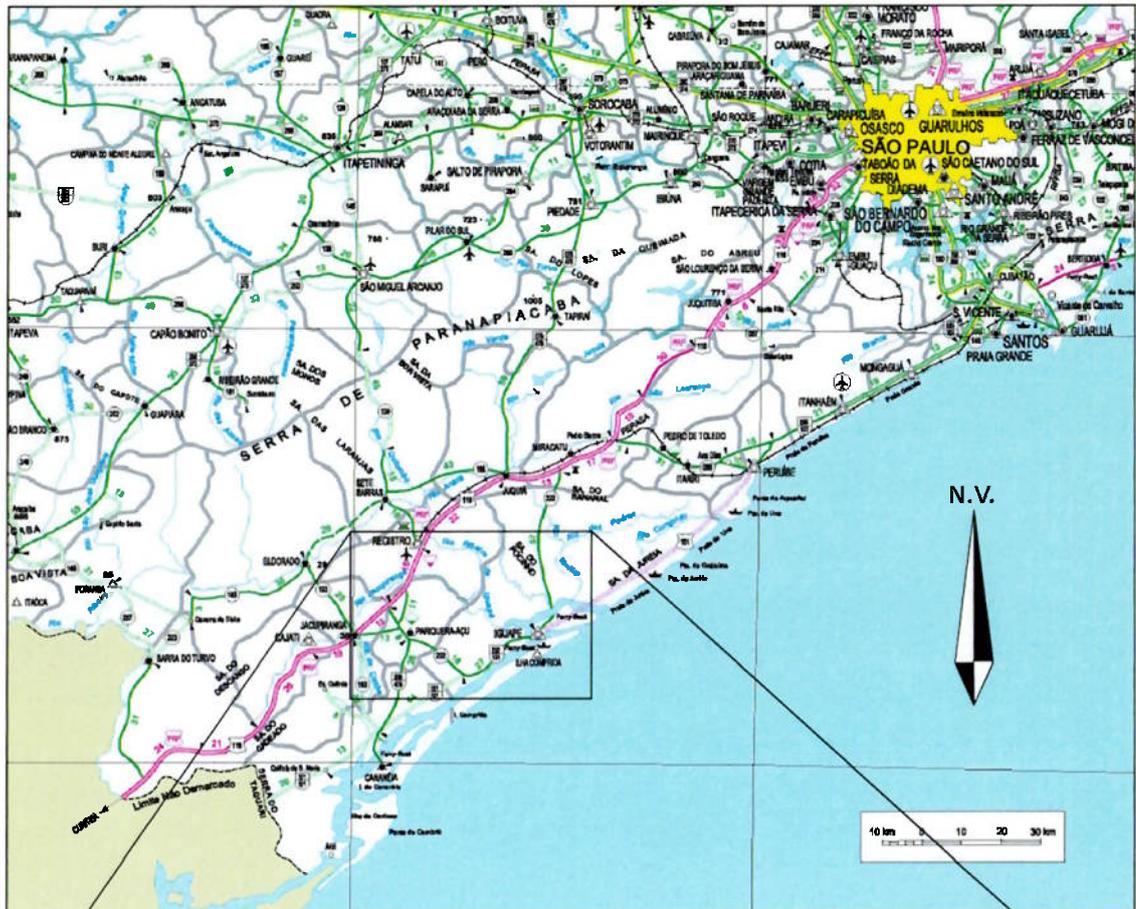
O acesso a esta região, a partir da capital paulista, pode ser efetuado, via rodoviária, pelas rodovias do sistema Anchieta-Imigrantes (SP-150 e SP-160) ou pela rodovia Régis Bittencourt (BR-116). Optando-se pelo sistema Anchieta-Imigrantes, deve-se tomar a rodovia Pedro Taques (BR-101), no município de São Vicente até o município de Iguape. Optando-se pela rodovia Régis Bittencourt (BR-116), deve-se tomar a estrada que liga o município de Juquiá a Iguape. O bairro de Subaúma, pode ser acessado por meio da Rodovia Ivo Zanella (SP-222), que liga Iguape a Pariquera Açu. A Mineração Corrêa localiza-se no quilômetro 83,5, do lado direito da Rodovia SP-222 (sentido Iguape - Pariquera Açu). A figura 2 mostra o mapa rodoviário regional e os acessos à área de estudo.

4.2. GEOMORFOLOGIA

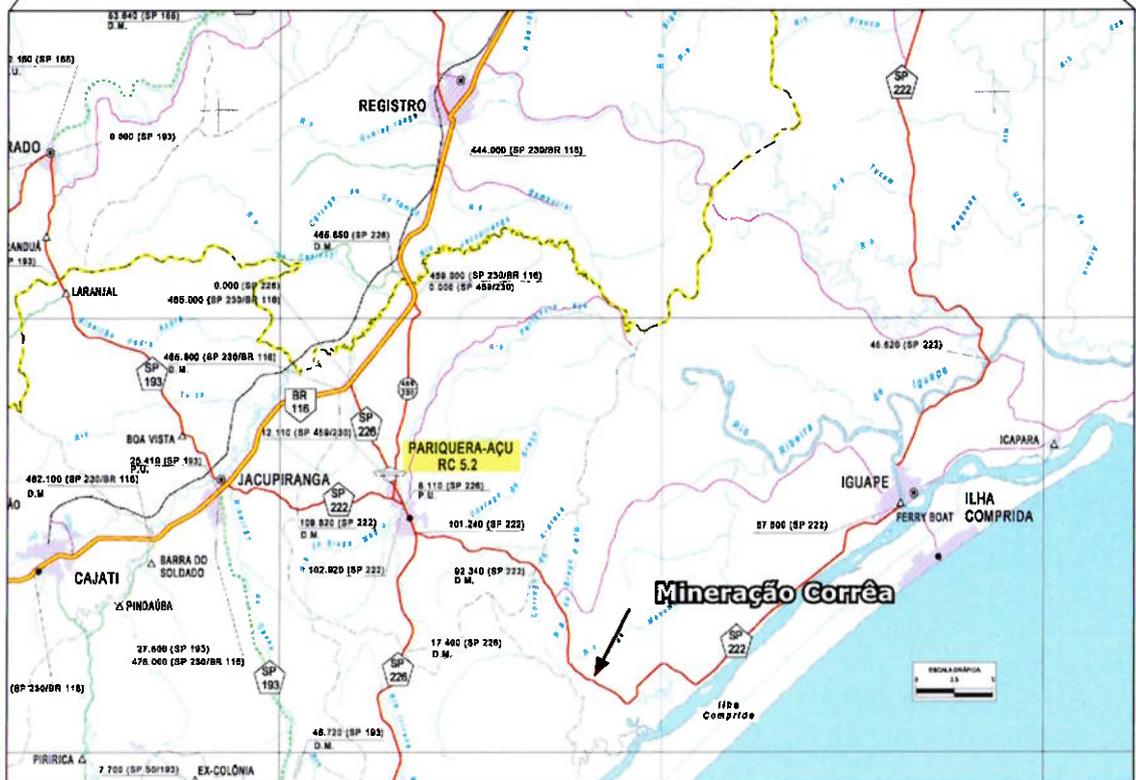
A Província Costeira do Estado de São Paulo, como definida por Almeida (1964, *apud* Ponçano *et al.*, 1981), corresponde à área drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico, sendo na maior parte, uma região serrana contínua, que à beira-mar cede lugar a uma seqüência de planícies de variadas origens.

As planícies litorâneas desenvolvem-se de modo descontínuo, subordinadas às reentrâncias do fronte serrano. No Estado de São Paulo, são individualizados dois setores: o litoral norte e o litoral sul. No litoral norte, os esporões serranos, os pequenos maciços e os morros litorâneos isolados atingem diretamente as águas oceânicas, dominam costas altas intercaladas por pequenas planícies e enseadas, que formam praias de bolso. No litoral sul, as escarpas serranas se distanciam da orla marítima, permitindo o desenvolvimento de costas retilíneas formadas por cordões litorâneos progradantes que constituem praias barreiras.

As baixadas litorâneas, de acordo com a definição de Ab'Saber (1956, *apud* Ponçano *et al.*, *op. cit.*), caracterizam-se por constituírem “planícies costeiras reduzidas e descontínuas, correspondentes à colmatagem flúvio-marinha recente, de antigas indentações dos sopés das escarpas de falhas em recuo. No litoral sul, enfeixadas por extensas praias barreiras,



REF. CARTOG.: DNIT (2002)



REF. CARTOG.: DER (S.D.)

Figura 2 - Localização e acessos à área de estudo.

as planícies litorâneas apresentam maior largura e maiores tratos de terrenos firmes, discretamente ondulados.”

Fúlfaro *et al.* (1974 *apud* Ferrari *et al.*, 1990) subdividem a planície costeira em dois compartimentos morfológicos: compartimento Sul (que compreende a área entre a ilha do Cardoso e a serra de Peruíbe) e compartimento Santos – Itanhaém – Peruíbe (que estende-se desde a serra de Peruíbe até a desembocadura do canal de Bertioga). A figura 3 apresenta a distribuição geográfica da planície costeira e sua compartimentação geomorfológica.

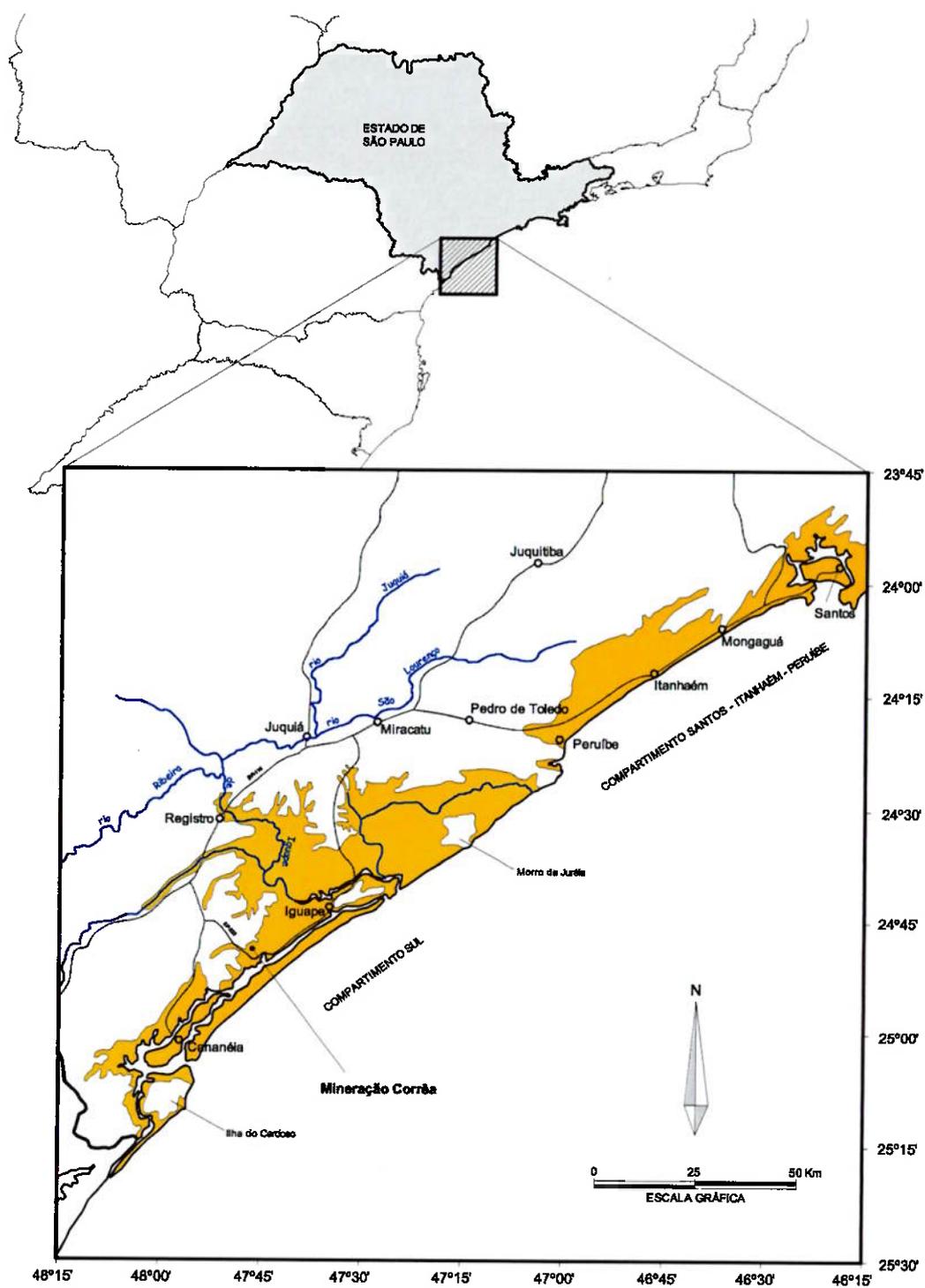
De acordo com Ferrari *et al.* (*op. cit.*), a faixa costeira do sul do Estado de São Paulo, entre São Vicente e Cananéia, está caracterizada geomorfológicamente pela ocorrência de extensas planícies, adentrando o continente até o sopé das escarpas da serra do Mar. Estas feições têm como origem, a interação de processos de falhamentos verticais, erosão do continente e carreamento dos detritos para as zonas de baixios. Estes sedimentos foram parcialmente retrabalhados pela ação das ondas, dando origem aos extensos depósitos de praia dessas planícies. Estas planícies são separadas entre si por “pontões” do embasamento cristalino em contato com o mar ou próximos a ele, e sua formação está intimamente relacionada com a variação do nível marinho durante o Quaternário.

Sugiuo & Martin (1978) individualizam 3 grandes planícies na região sul do Estado de São Paulo: planície Cananéia-Iguape, planície Peruíbe-Itanhaém e planície Mongaguá-Praia Grande.

A jazida da Mineração Corrêa insere-se na planície Cananéia-Iguape, que corresponde a uma porção do compartimento Sul de Fúlfaro *et al.* (1974 *apud* Ferrari *et al.*, *op. cit.*). Esta planície é limitada a sudoeste pela ilha do Cardoso e a nordeste pelo morro da Juréia, estendendo-se por aproximadamente 100 km de linha de costa e adentrando cerca de 40 km no continente até as proximidades da cidade de Registro.

A planície Cananéia-Iguape é um compartimento geomorfológico que recobre uma superfície de aproximadamente 2.500 km², e é caracterizada pela intensa sedimentação costeira (a maior do Estado) que, aproveitando o entalhe do rio Ribeira de Iguape, penetra profundamente para o interior. A parte externa desta planície é drenada por uma rede de canais lagunares e rios que sofrem a influência da maré.

Esta feição geomorfológica é composta por terraços pleistocênicos marinhos, ampla planície flúvio-marinha e ilhas barreiras com praias, cordões de dunas, dunas e extensos manguesais. A jazida da Mineração Corrêa localiza-se nas proximidades da região serrana, no sopé das escarpas da serra do Mar.



modificado de Ferrari et al. (1990)

Legenda

- Cidade
- Estrada
- ~ Rios
- Limite estadual
- Planície Costeira

Figura 3 - Distribuição geográfica e compartimentação geomorfológica da Planície Costeira.

A figura 4 ilustra imagens de satélite (TM Landsat), onde é possível visualizar as feições geomorfológicas regionais em que se insere a Mineração Corrêa. Nesta imagem pode-se identificar a extensa planície Cananéia-Iguape, e suaves alinhamentos orientados paralelamente à linha de costa, nas proximidades da Mineração Corrêa, típicas feições de cordões litorâneos.

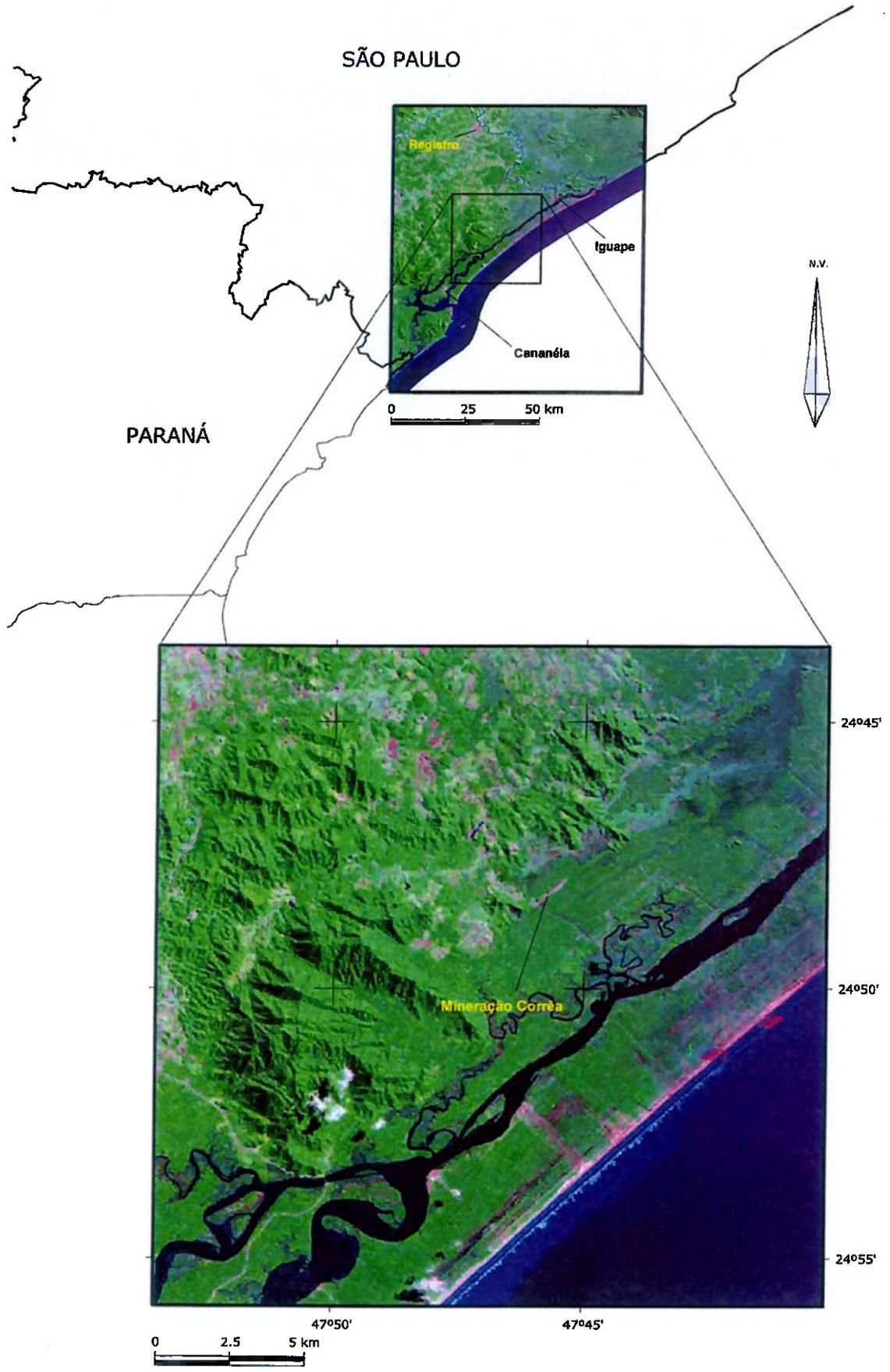
4.3. GEOLOGIA REGIONAL

De acordo com Suguio & Martin (1978), na parte sul do litoral paulista, em contato direto com rochas precambrianas, encontram-se depósitos sedimentares argilo-arenosos a conglomeráticos, de idade provável plio-pleistocênica, que receberam o nome de Formação Pariquera Açú. Acima da Formação Pariquera Açú encontram-se sedimentos argilo-arenosos e sedimentos arenosos, de origem incontestavelmente marinha. Pela sua posição em relação à Formação Pariquera Açú, admite-se uma idade quaternária para esses sedimentos.

A formação da planície Cananéia-Iguape está ligada às variações do nível do mar no Quaternário durante ciclos transgressivos e regressivos. Suguio & Martin (*op. cit.*) afirmam a existência de pelo menos duas fases transgressivas. O evento mais antigo, denominado transgressão Cananéia tem idade calculada entre 100.000 e 120.000 anos. Já o evento mais recente, denominado transgressão Santos foi definido com mais detalhes graças a mais de uma centena de datações pelo método radiocarbono e avaliação de amostras de sambaquís da região de Cananéia-Iguape e Praia Grande-Bertioga, o que possibilitou a construção de curvas de variação do nível marinho ao longo dos últimos 8.000 anos.

Durante a transgressão Cananéia, ocorreu, sobre a Formação Pariquera Açú, um depósito argilo-arenoso na base e arenoso no topo que recebeu o nome de Formação Cananéia (Suguio & Petri, 1973 *apud* Suguio & Martin, *op. cit.*). Suas altitudes variam de 5 a 6 m nas zonas externas (próximo ao mar) até 9 a 10 m nas zonas internas (próximo à serra). Este depósito é caracteristicamente do tipo transicional, passando de um meio continental na parte inferior para um meio marinho na parte superior, fato esse que caracteriza uma fase transgressiva. Na formação arenosa, Suguio & Martin (*op. cit.*) indicam a presença de tubos fósseis de *Callianassa* (animais artrópodes marinhos que vivem, até hoje, na zona baixa das praias).

Os antigos cordões litorâneos, nitidamente observados em imagens de satélite (figura 4) e fotografias aéreas (foto 1), atestam o início da fase regressiva. Os depósitos associados aos cordões litorâneos consistem de camadas de areias pleistocênicas de granulação fina



Imagens de satélite (TM LANDSAT) obtidas da internet através do sítio <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>

Figura 4 - Imagens de satélite da região estudada.

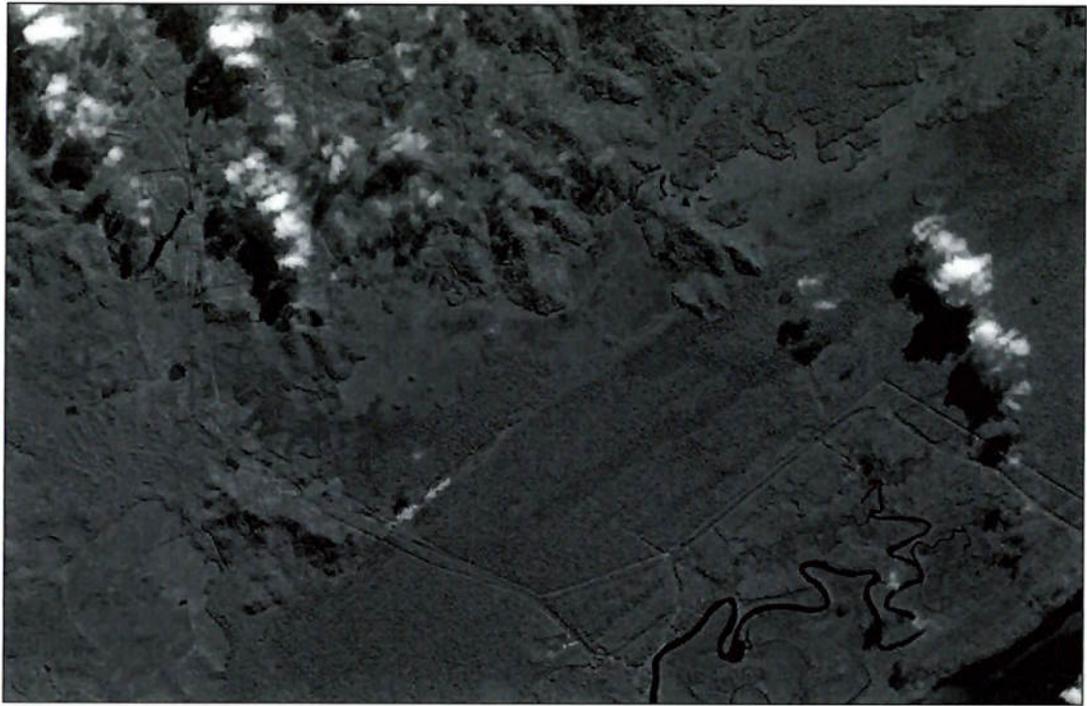
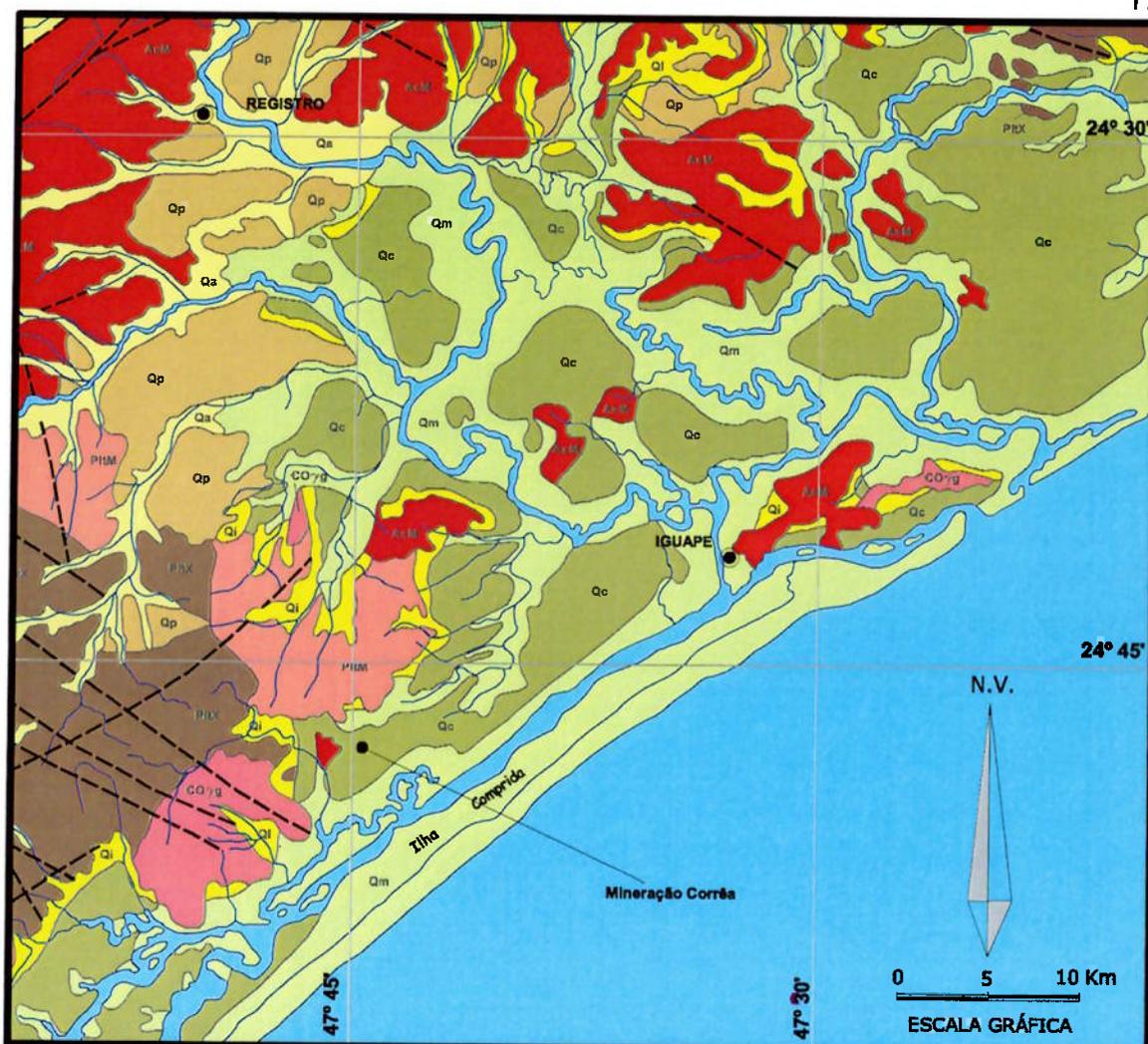


Foto 1 - Fotografia aérea (sem escala) da região de Subaúma.

e bem selecionadas, que apresentam níveis de coloração branca, preta, marrom e amarela, do topo para a base (foto 2). De acordo com Petri & Fúlfaro (1983), leitos argilosos ocorrem nesta seqüência de maneira muito subordinada e sob a forma de lentes, e a parte superior das areias muito bem selecionadas que representa a fase regressiva forma o corpo principal da Formação Cananéia. A figura 5 ilustra o mapa geológico regional e a figura 6 ilustra o mapa geológico de detalhe.



Foto 2 - Camadas de coloração branca e preta aflorantes na cava da mineração.



Legenda

modificado de IPT (1981)

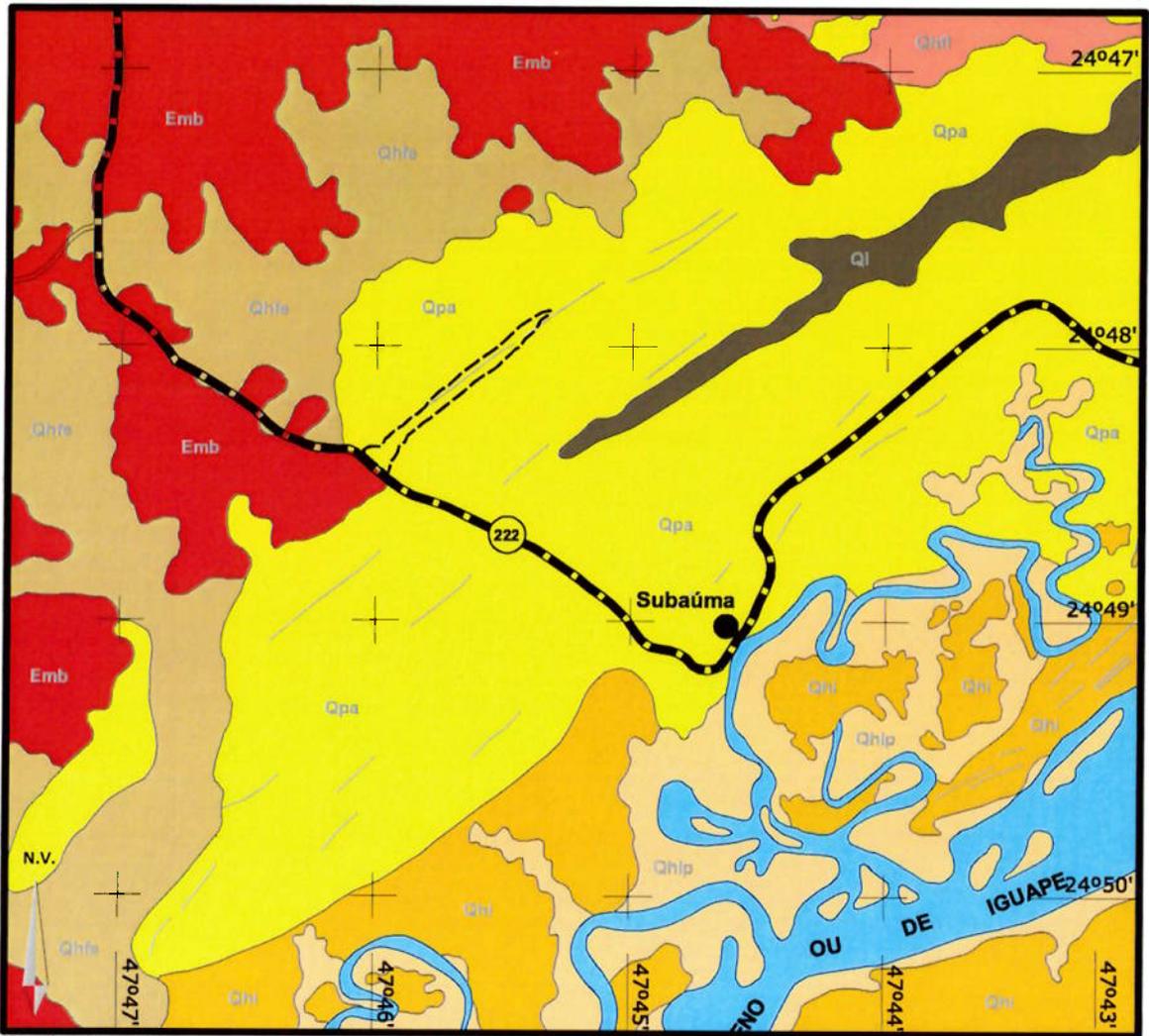
Cenozóico

- Qa Sedimentos aluvionares
- Qm Sedimentos marinhos e mistos
- Qi Sedimentos continentais indiferenciados
- Qc Formação Cananéia
- Qp Formação Paríquera Açú

Embasamento Pré-Cambriano

- PiX Complexo Turvo-Cajati (mármore calcíticos e dolomíticos)
- PiM Complexo Turvo-Cajati (biotita gnaisses)
- CO7g Suites graníticas pós-tectônicas (fácies granofírica)
- AcM Complexo Costeiro
- Falhas geológicas

Figura 5 - Mapa geológico regional.



Escala: 1:50.000

modificado de Ferrari et al. (1990)

Legenda

- Emb **Emb** Embasamento cristalino
- Cordões litorâneos
- Mineração Corrêa

CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	INTERPRETAÇÃO
<p>Qhfe Areia grossa, mal selecionada, com seixos; areia fina a média mal selecionada; argilas e siltes.</p>	<p>Cone de dejeção, canais fluviais e planícies fluviais.</p>	<p>Depósitos gravitacionais (colúvios e elúvios) e aluviais.</p>
<p>Qhfi Argilas plásticas de cores variegadas e orgânicas, localmente recobrimdo areias bem selecionadas; areias grossas, mal selecionadas e conglomerados inconsolidados. Secundariamente, turfas aflorantes e em subsuperfície.</p>	<p>Planície de inundação, meandro abandonado e crescente de meandro.</p>	<p>Depósitos de planície de inundação.</p>
<p>Qhip Areias quartzosas e argilas orgânicas.</p>	<p>Manguezais.</p>	<p>Depósitos paludais.</p>
<p>Ql Turfa marrom escuro, humificação média a alta, com fragmentos de madeira e umidade média.</p>		<p>Depósitos lagunares.</p>
<p>Qhi Areias quartzosas finas, bem selecionadas, laminações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo. Frequentes tubos fósseis de "callianassa".</p>	<p>Cordões litorâneos.</p>	<p>Depósitos de praias intermarés.</p>
<p>Qpa Areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, laminações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo. Frequentes tubos fósseis de "callianassa".</p>	<p>Cordões litorâneos.</p>	<p>Depósitos de praias intermarés.</p>

Figura 6 - Mapa geológico de detalhe.

Datações ao radiocarbono efetuadas em fragmentos vegetais coletados no topo da zona argilosa (transicional) e em uma lente argilosa intercalada nas areias marinhas litorâneas forneceram idades superiores a 30.000 anos, o que indica que a Formação Cananéia não foi depositada durante o último episódio transgressivo, mas sim durante uma transgressão mais antiga (Suguio & Martin, 1978).

A transgressão Santos é identificada na região pela ocorrência de alguns tipos de depósitos. Na parte mais externa dos depósitos arenosos da Formação Cananéia, encontram-se sedimentos arenosos cuja altitude não ultrapassa 3 m, de grande extensão, com estruturas de cordões de regressão em sua superfície.

Mais para o interior, nas zonas erodidas da Formação Cananéia, ocorrem depósitos argilo-arenosos de origem flúvio-lagunar. São também encontradas areias lagunares que podem recobrir antigas formações argilosas de mangue ou de fundo de baía. Do mesmo modo ocorrem bancos de conchas de moluscos com 20 a 30 cm de espessura intercalados nas areias lagunares.

À exceção de pequenos e isolados corpos de areia de praia, toda a planície por onde vagueiam os rios Ribeira de Iguape, Jacupiranga e Peropava, está representada predominantemente por argilas normalmente orgânicas, relacionadas à fácies flúvio-lagunar (depositada durante a transgressão Santos). Sondagens realizadas nestes sedimentos (Ferrari *et al.*, 1990) atestam a presença de areias de praia em profundidade, provavelmente de idade pleistocênica (depositadas durante a transgressão Cananéia).

Na planície Cananéia-Iguape, destacam-se quatro grandes corpos de sedimentos turfáceos, situados nas proximidades de Subaúma, rio Pariquera Açu, rio Ribeira de Iguape e rio Peropava. Estas turfas geralmente apresentam cor marrom escura, grau de humificação e de umidade médio a alto e fragmentos de madeira. As espessuras de turfa variam de alguns centímetros até 4 m, sendo que os sedimentos turfáceos de Subaúma apresentam maior área aflorante.

4.4. CLIMA

Segundo Ponçano *et al.* (1981), a configuração geral do relevo é de grande importância na caracterização climática da Província Costeira. O paredão serrano funciona como barreira para o avanço de massas de ar (provenientes do oceano e do sul do continente) e direcionam correntes de convecção que condensam a umidade e provocam nevoeiros e precipitações de chuvas de caráter orográfico.

O clima é classificado, segundo Köppen (*apud* Ponçano *et al.*, 1981), como sendo do tipo Af (tropical super úmido sem estação seca). Na zona das baixadas litorâneas a média anual de precipitação situa-se entre 1.500 mm e 2.000 mm. Na região do Vale do Ribeira, a média anual varia entre 1.300 e 1.500 mm. A província, no seu conjunto, apresenta temperaturas médias anuais superiores a 20° C.

4.5. VEGETAÇÃO

De acordo com Ponçano *et al.* (*op. cit.*), a Província Costeira é a que apresenta, em todo o estado, o maior percentual em área coberta por vegetação original. O autor afirma que existe uma diferenciação marcante no tipo de associação vegetal para cada feição geomorfológica da zona das baixadas litorâneas. Tais feições podem ser mapeadas em função da ocorrência dessas associações.

Ferrari *et al.* (1990) subdivide a vegetação da região em duas formações: florestais e litorâneas. As formações florestais caracterizam-se pela predominância de espécies arbóreas, ocorrendo na região das florestas latifoliadas da encosta da serra do Mar. As formações litorâneas se desenvolvem na planície costeira e são influenciadas principalmente pelas condições do solo, ação das águas marinhas e do vento.

Nos terrenos mais altos permanentemente secos ou sujeitos a inundação apenas por água doce, desenvolve-se mata latifoliada característica, muito susceptível a variações anormais do nível da água (drenagem ou barramentos por obras civis e/ou empreendimentos agrícolas).

Nas formações litorâneas, a flora dos terrenos pode ser dividida em vegetação das dunas e restingas, e dos manguezais.

A vegetação das dunas e restingas também é denominada de zona do Jundú, e ocupa a faixa intermediária entre a mata tropical e a vegetação das praias. Esta zona já não sofre intensa ação dos ventos, possui maior acúmulo de umidade, e é representada por árvores e arbustos de pequeno e médio porte das famílias das mirtáceas, lauráceas, euforbiáceas, bromeliáceas e cactáceas.

No domínio dos manguezais, a vegetação caracteriza-se por espécies com raízes aéreas em forma de arco (para maior aeração), devido a diversos fatores como solos inconsistentes de sedimentação mista com deficiência de oxigênio (devido ao alagamento ocasionado pelas oscilações constantes da maré).

4.6. ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

O Vale do Ribeira apresenta-se como uma das regiões economicamente mais carentes do Estado de São Paulo. Entretanto, apresenta uma extraordinária riqueza ambiental, com excelentes oportunidades para o desenvolvimento de projetos na área do turismo ecológico.

A economia regional é marcada pela existência de agroindústrias de chá e banana, cultivo de banana, chá, mexerica, maracujá e pesca artesanal.

Outra atividade de grande importância é a mineração, e talvez a de maior destaque por sua proximidade com áreas urbanizadas, é a mineração de areia, desenvolvida, principalmente, nos rios Ribeira de Iguape e Juquiá. Esta atividade é desenvolvida na região há muitas décadas. Na década de 90, porém, com a criação da Associação dos Mineradores de Areia do Vale do Ribeira (AMAVRI), esta atividade passou por um grande desenvolvimento, tanto nos aspectos tecnológicos, quanto nos aspectos sócio-econômicos e ambientais.

Nos aspectos tecnológicos, a instalação de equipamentos modernos de extração e beneficiamento de areia (barcos equipados com ecobatímetros e GPS (*Global Positioning System*), modernas bombas de sucção e recalque, peneiras vibratórias, hidrociclones, etc.) permitiu a produção de uma areia com melhor qualidade e maior valor agregado.

Outro benefício trazido pela criação da AMAVRI foi uma mineração mais consciente quanto às questões ambientais e sociais, pela viabilização do Projeto Viva Ribeira, que procura aproximar a população local de questões importantes como a recuperação das matas ciliares, coleta seletiva e reciclagem de lixo.

5. CARACTERIZAÇÃO DA JAZIDA

5.1. MODELO DEPOSICIONAL

5.1.1. Introdução

O processo de formação dos depósitos de areia determinam suas características. A área fonte e os processos de alteração determinam a petrologia original e forma dos grãos ou partículas. Durante o transporte, a abrasão e atrição arredondam os grãos, eliminam as partículas menos resistentes e promovem a classificação granulométrica. A intensidade destes processos é controlada pelo modo de transporte (fluvial, eólico, marinho ou glacial, por exemplo) e pela distância da área fonte (Prentice, 1990). Após a deposição dos sedimentos, os mesmos podem sofrer retrabalhamento *in loco*, o que pode afetar a seleção destes e determinar a forma e variabilidade do depósito final.

Prentice (*op. cit.*) classifica os depósitos de areia, quanto à sua origem, como: residuais, coluvionares, aluvionares, glaciogênicos, marinhos e eólicos, conforme as seguintes definições:

- **Depósitos residuais** - depósitos formados *in situ*, ou seja, que não sofreram transporte da área fonte.
- **Depósitos coluvionares** - depósitos cujo transporte se deu por movimentos de massa. Por estarem próximos à área fonte, possuem mineralogia similar à esta, e os grãos são angulosos e mal selecionados.
- **Depósitos aluvionares** - depósitos gerados pelo transporte fluvial. Ocorrem associados a corpos d'água, como rios e lagos, ou nas planícies de inundação dos rios. Os depósitos aluvionares ocorrem geralmente, na forma de intercalações de camadas de areia, cascalho e argila.
- **Depósitos glaciogênicos** - depósitos cuja formação está associada aos processos glaciais, geralmente consistem de misturas heterogêneas de grãos de diversas granulometrias, e na maioria das vezes, estão associados a uma quantidade significativa de material fino (silte e argila).
- **Depósitos marinhos** - depósitos associados aos processos marinhos. Diversas feições lito-estratigráficas estão relacionadas com estes tipos de depósitos. Registros de ciclos de transgressão e regressão marinha são comuns. Estes depósitos incluem desde areias bem selecionadas de praia, até depósitos de argila de águas mais profundas. Muitas vezes as interações com processos fluviais, permitem acumulações de material mais grosso (seixos).

- **Depósitos eólicos** - são depósitos originados pelo transporte de sedimentos pelo vento. Estes depósitos ocorrem em regiões desérticas e litorâneas e possuem mineralogia homogênea, geralmente quartzosa. As partículas são geralmente arredondadas, esféricas e polidas.

Muitas vezes, as interações entre diversos processos deposicionais resultam em depósitos mistos, geralmente em áreas de transição entre dois ambientes distintos (flúvio-marinho, flúvio-glacial, glácio-marinho, etc.)

De acordo com a definição de Azevedo *et. al.* (1990), as areias são produtos da alteração de rochas, e seus principais depósitos são formados por processos naturais de intemperismo, transporte e acumulação. No Estado de São Paulo os grandes depósitos de areia lavrados para emprego na construção civil situam-se em quatro diferentes contextos geológicos: leitos de rios, planícies aluvionares, formações geológicas antigas e praias.

Considerando as definições de areia e agregado miúdo, as rochas cristalinas, no seu estado são (inalterado), apesar de estarem se tornando, atualmente, importantes fontes de agregado miúdo (pó de pedra), não devem ser classificadas como depósitos de areia.

Os depósitos de areia associados às formações geológicas e coberturas indiferenciadas ocorrem na Bacia do Paraná (Paleozóico), Bacia de São Paulo (Terciário), Bacia de Taubaté (Terciário) e formações geológicas costeiras (Quaternário).

Na Bacia do Paraná, os depósitos de areia são muito expressivos onde afloram as formações Botucatu e Pirambóia, sendo lavrados em diversas regiões do Estado de São Paulo. Na Bacia de São Paulo, os principais depósitos de areia situam-se na Formação São Paulo e coberturas indiferenciadas a ela correlatas, e são lavrados principalmente nos municípios de Arujá, Mogi das Cruzes, Guarulhos, Itapevi e Taboão da Serra. Na Bacia de Taubaté, os depósitos arenosos estão associados à Formação Caçapava e às coberturas sedimentares terciárias. Depósitos muito expressivos são lavrados em diversos municípios do Vale do Paraíba, como Jacareí e Caçapava.

No litoral sul do Estado de São Paulo, os depósitos de areia mais expressivos correlacionam-se à Formação Cananéia, de idade quaternária, e sua lavra, que já foi mais expressiva, ocorre em diversos municípios como Peruíbe, Iguape e Itanhaém.

5.1.2. História evolutiva e gênese da jazida

O desenvolvimento da planície Cananéia-Iguape no trecho entre a ilha do Cardoso e o morro da Juréia é explicado por Suguio & Martin (1978) através de um esquema evolutivo subdividido em cinco estádios sucessivos.

No 1º estádio, por ocasião do máximo da transgressão Cananéia, o mar atingiu o pé da serra do Mar. Nessa fase os sedimentos argilo-arenosos transicionais e areias litorâneas transgressivas recobriram a Formação Pariquera Açu.

O evento subsequente do ciclo, correspondente ao 2º estádio, foi a regressão consequente do nível do mar, acompanhada da construção de cordões litorâneos sobre os depósitos arenosos transgressivos.

Durante todo o transcorrer do 3º estádio, o nível do mar foi inferior ao nível atual (ao redor de 17.000 anos o nível do mar situava-se em torno de - 110 m). Nesta fase, a drenagem erodiu parcialmente os sedimentos depositados durante a transgressão Cananéia, formando vales.

O 4º estágio, de idade holocênica, caracteriza-se pela implantação de um sistema lagunar ligado à transgressão Santos, o último período transgressivo. Ao mesmo tempo em que foram depositados sedimentos argilo-arenosos comumente ricos em matéria orgânica, o mar, que penetrou inicialmente nas zonas baixas, erodiu as partes mais altas da Formação Cananéia. As areias resultantes desta erosão foram ressedimentadas para formar os depósitos marinhos holocênicos.

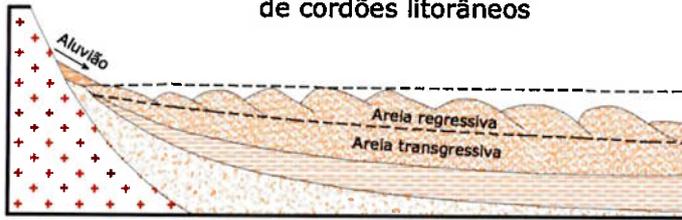
O 5º e último estágio do modelo corresponde ao retorno do mar rumo ao seu nível atual, quando foram formados cordões litorâneos de regressão como os existentes na ilha Comprida. A figura 7 ilustra a evolução da sedimentação conforme o modelo de Suguio & Martin (*op. cit.*).

Considerando este modelo de evolução, a jazida da Mineração Corrêa está relacionada somente ao 1º e 2º estádio. As camadas arenosas da base da jazida correspondem aos depósitos da transgressão Cananéia e, as camadas do topo, aos cordões litorâneos formados durante a regressão sucessiva.

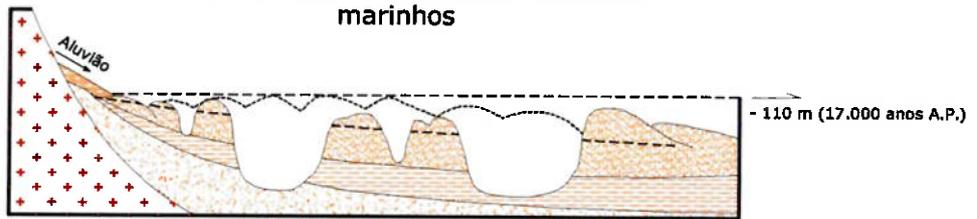
1º estágio - Máximo da transgressão Cananéia (Pleistoceno)



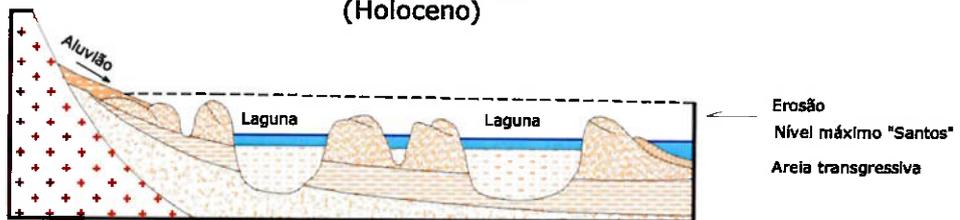
2º estágio - Regressão e deposição de cordões litorâneos



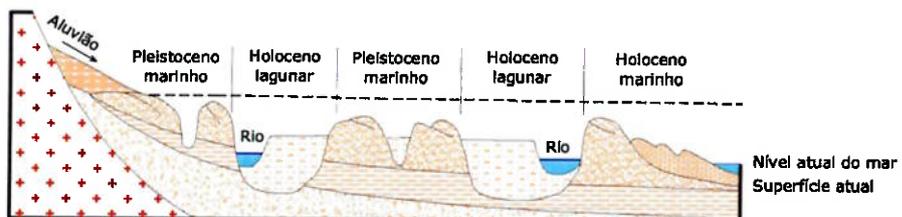
3º estágio - Erosão parcial de sedimentos marinhos



4º estágio - Máximo da transgressão Santos (Holoceno)



5º estágio - Regressão rumo ao nível atual



Modelo deposicional em escala esquemática válido para a planície Cananéia-Iguape entre Cananéia e o Morro da Juréia (modificado de Suguio & Martin, 1978)

Figura 7 - Modelo evolutivo de sedimentação.

5.2. CAMPANHAS DE SONDAGEM À PERCUSSÃO MANUAL

A investigação a partir de sondagem à percussão manual foi executada pela Mineração Corrêa em duas campanhas, abrangendo os seguintes procedimentos:

5.2.1. Primeira campanha

- Execução de 15 furos de sondagem por meio de sonda hidráulica com capacidade de perfuração de até 18 m. As coordenadas dos furos de sondagem foram registradas por meio de um aparelho de GPS. A profundidade sondada atingiu, no máximo, 15 m em cada furo.
- Coleta de amostras a cada 1,5 m de profundidade. Decantação dos sólidos da polpa produzida na perfuração (proveniente da lavagem), desaguamento simples, ensacamento e identificação.

As amostras coletadas foram submetidas a análise granulométrica executada pela Mineração Corrêa, com a finalidade de identificar as camadas de interesse e estudar sua distribuição lateral.

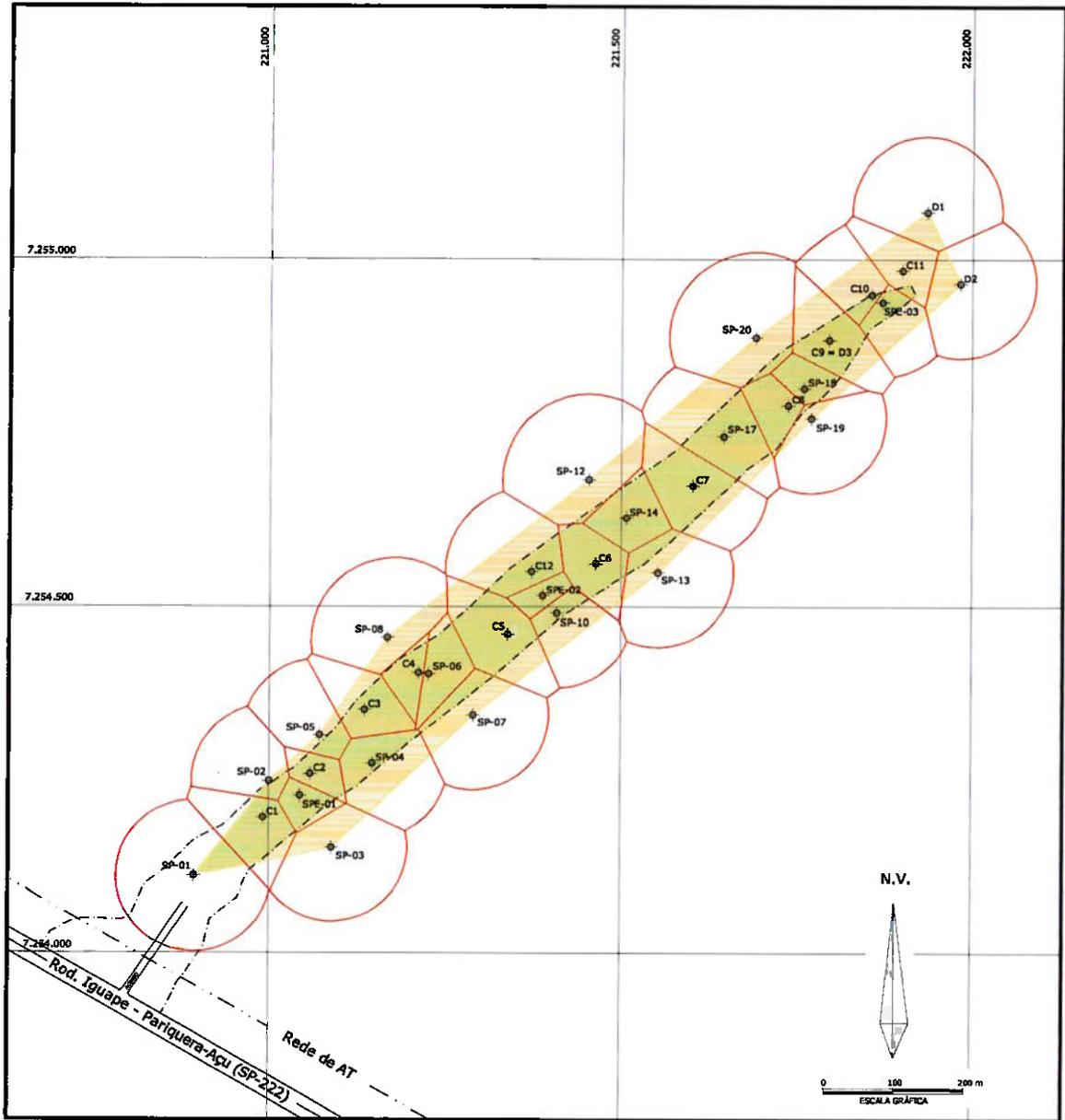
5.2.2. Segunda campanha

- Execução de 19 furos de sondagem por meio de sonda hidráulica. As coordenadas dos furos de sondagem foram registradas por meio de um aparelho de GPS. A profundidade de investigação variou conforme a ocorrência da camada basal de argila, sotoposta ao depósito arenoso de interesse. Atingiu, no máximo, 28,45 m em um dos furos;
- Coleta de amostras a cada 1,5 m de profundidade. Decantação dos sólidos da polpa produzida na perfuração (proveniente da lavagem), desaguamento simples, ensacamento e identificação;

Até a conclusão da presente pesquisa, as análises granulométricas das amostras coletadas na segunda campanha de sondagem não haviam sido concluídas. A figura 8 mostra a locação dos furos de sondagem.

5.2.3. Considerações sobre a precisão da locação dos furos com GPS

Até meados de 2000, a precisão obtida na obtenção de coordenadas por meio de unidades



Escala 1:10.000

Legenda

-  Polígonos de cubagem
-  Limite da área de lavra
-  Furos de sondagem
-  Limite da área da reserva medida
-  Limite da área da reserva lavável

Furos de sondagem

Primeira campanha	Segunda campanha
C1	SP-01
C2	SP-02
C3	SP-03
C4	SP-04
C5	SP-05
C6	SP-06
C7	SP-07
C8	SP-08
C9	SP-10
C10	SP-12
C11	SP-13
C12	SP-14
D1	SP-17
D2	SP-18
D3	SP-19
	SP-20
	SPE-01
	SPE-02
	SPE-03

Figura 8 - Distribuição dos polígonos de cubagem, áreas das reservas minerais e furos de sondagem.

de GPS portáteis era de até 100 metros. Os erros de locação eram intencionalmente adicionados de forma randômica pelo Departamento de Defesa Norte Americano (cumprir lembrar que os satélites utilizados na obtenção de coordenadas por GPS são norte americanos), com a finalidade de manter o GPS uma ferramenta mais poderosa para o uso militar.

No dia 1 de maio de 2000, o presidente dos Estados Unidos da América (Bill Clinton) anunciou a retirada da chamada Disponibilidade Seletiva ou SA (*Selective Availability*). Quando a SA estava em funcionamento, as unidades de GPS recebiam sinais propositalmente “embaralhados” dos satélites, limitando o uso dos aparelhos para fins comerciais ou privados.

A retirada da SA no ano de 2000 (Clinton, 2000) determinou um aumento instantâneo da precisão na determinação das coordenadas. Atualmente, os aparelhos de GPS tem precisão de até vinte metros, porém, em boas condições, as unidades podem apresentar erros de menos de 10 metros.

5.3. GEOMETRIA DO CORPO MINERALIZADO

A porção atualmente passível de lavra do corpo mineralizado corresponde a uma área de aproximadamente 13 ha, de forma alongada, orientada na direção NE, que se insere completamente nos domínios da Formação Cananéia (fotos 3 e 4). A orientação em superfície do corpo mineralizado acompanha um cordão litorâneo.

Esse corpo configura-se como uma seqüência de camadas arenosas, com granulometria por vezes mais fina, por vezes mais grossa, intercaladas com camadas de argila mais ou menos espessas. Na base, a seqüência é limitada por uma espessa camada de argila que não foi transposta pela sondagem. Esta camada ocorre a uma profundidade de aproximadamente 30 m na extremidade sudoeste da área. Ao longo do corpo, porém, a camada basal de argila situa-se próxima aos 15 m de profundidade.

Segundo Ferrari *et al.* (1990), os depósitos de areia da Formação Cananéia são bastante similares. Envolvem a presença de uma camada descontínua de areia branca, com granulometria fina, cuja espessura máxima atinge 6 m (média de 1,75 m). Na jazida da Mineração Corrêa, esta camada é prontamente identificada ao longo da área de lavra (foto 5) e corresponde à camada superior da jazida, possuindo espessura média inferior à 2 m. Deve-se ressaltar que, devido à lavra seletiva executada no passado, as espessuras dessa camada são relativamente menores que as identificadas por Ferrari *et al.* (*op. cit.*).



Foto 3 - Vista geral da área de lavra da Mineração Corrêa (vista de NE para SW).



Foto 4 - Vista parcial da cava da Mineração Corrêa e da área de lavra (vista de SW para NE).

Ferrari *et al.* (1990) identificam uma camada arenosa rica em matéria orgânica de coloração marrom escura a negra, com espessura decimétrica a métrica, sotoposta à camada de areia branca. Esta camada ocorre ao longo da área de lavra da mineração, e tem espessura média inferior a um metro (foto 2).

Abaixo dessa delgada camada arenosa escura, que corresponde à base da fase regressiva



Foto 5 - Afloramento de camada arenosa branca na extremidade NE da área de lavra.

do depósito, ocorre um espesso pacote incluindo intercalações de camadas de areia de granulação variada, de coloração amarela e/ou cinza, com camadas argilosas pouco espessas. Ferrari *et al.* (1990) identificam espessuras de em média 25 m para esse pacote. Na jazida da Mineração Corrêa, a espessura desse pacote varia consideravelmente, entre 3 e 26 m. Este pacote corresponde às areias da transgressão Cananéia.

Para um estudo pormenorizado do corpo, foi efetuado, nos materiais obtidos em cada furo da primeira campanha de sondagem, análise granulométrica e determinação do módulo de finura em intervalos regulares. Estes dados evidenciaram a heterogeneidade granulométrica do corpo.

Os dados obtidos nestes ensaios foram plotados em um gráfico de profundidade x módulo de finura (figura 9). Nesse gráfico, o eixo das abcissas representa a profundidade em metros a partir da superfície, e o eixo das ordenadas representa o módulo de finura determinado em cada intervalo. Esse gráfico mostra que, de modo geral, as camadas de areia até a profundidade de 9 m possuem módulos de finura entre 1,00 e 3,20. A partir dessa profundidade, os módulos de finura diminuem para uma faixa entre 0,08 e 1,80.

A marcante diminuição dos módulos de finura a partir dos 9 m indica a predominância de camadas abundantes em sedimentos finos a partir desta profundidade. O gráfico da figura 9 apresenta, também, uma curva correspondente à média dos módulos de finura por profundidade.

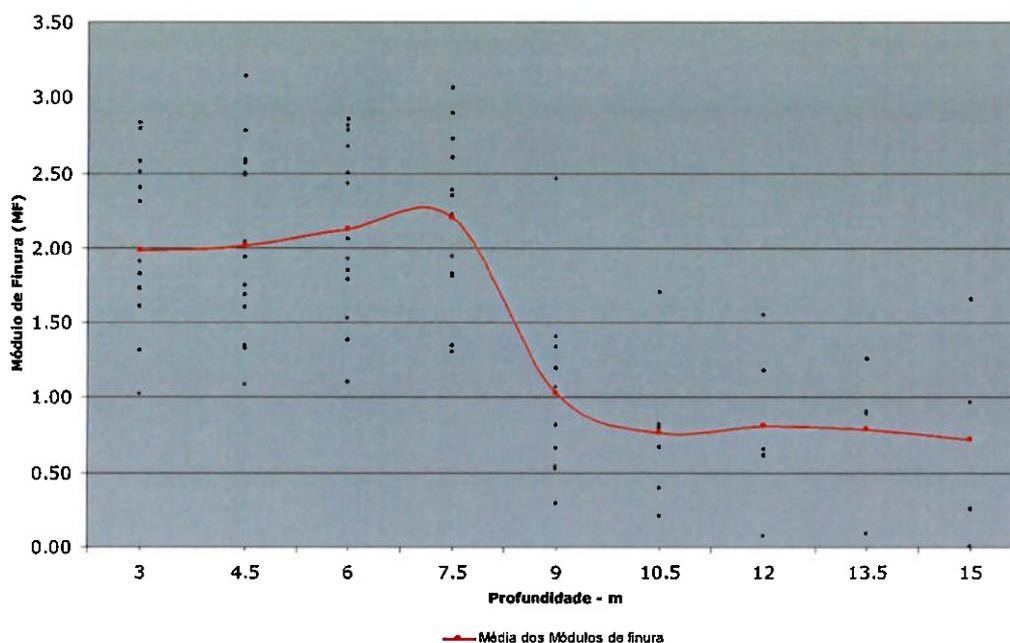


Figura 9 - Distribuição do módulo de finura nos furos de sondagem da primeira campanha.

O comportamento da distribuição dos módulos de finura, aliado às observações visuais dos testemunhos dos furos de sondagem, mostra que a quantidade de finos aumenta bastante a partir de uma determinada profundidade, o que atesta uma mudança de regime deposicional, ou seja, o contato entre as areias transgressivas (base) e regressivas (topo).

O limite inferior da jazida corresponde ao contato com uma espessa camada de sedimentos argilosos que não foi transposta. Esta camada foi identificada como o depósito argiloso de transição entre os ambientes continental e marinho.

A distribuição irregular das camadas, a partir de uma determinada profundidade, dificulta a interpretação precisa da geometria do depósito estudado. O gráfico constante da figura 9 fornece, porém, informações importantes quanto à distribuição granulométrica de um modo geral. Em geral, os módulos de finura abaixo dos 9 m de profundidade são inferiores a 1,00.

5.4. RESERVAS MINERAIS

De acordo com o que dispõe o Artigo 26, Parágrafo Único do Regulamento do Código de Mineração – RCM (Decreto nº 62.934, de 2.7.68), as reservas minerais são divididas em três classes: reserva medida, reserva indicada e reserva inferida, em virtude da densidade e qualidade de dados obtidos quando da pesquisa mineral.

O cálculo das reservas de areia do depósito pesquisado pode ser realizado a partir de diversos métodos propostos na literatura. O método mais adequado para as características do depósito em questão é o método dos polígonos.

De acordo com Yamamoto (2001), o método dos polígonos faz uso do conceito clássico de zona de influência em mineração, onde as características de uma estação de amostragem são estendidas até as meias distâncias das estações adjacentes.

Nas áreas de fronteira da jazida, os polígonos externos necessitam de informações adicionais para que possam ser fechados. Conforme a sugestão de Popoff (1966 *apud* Yamamoto, *op. cit.*), estes são fechados usando-se uma distância de influência média em torno dos pontos de dados da fronteira. Assim, os polígonos externos podem ser fechados com um arco de círculo de raio igual à zona de influência média.

Aplicando-se o princípio dos pontos mais próximos aos pontos de dados distribuídos em uma área, obtém-se uma rede de polígonos cujos lados encontram-se exatamente a meia distância entre duas estações adjacentes.

Para a estimativa dos volumes, foram utilizados apenas os dados das sondagens. Considerou-se, para o cálculo dos volumes, as espessuras das camadas de areia identificadas e registradas nos perfis dos furos, e, nos furos em que se executou análise granulométrica, adotou-se um teor médio de areia, considerando apenas as frações acima de 0,15 mm.

Na jazida da Mineração Corrêa, foram definidas duas categorias de reserva: reserva medida e reserva indicada.

Levando-se em conta a geometria da área de lavra, que se configura como uma extensa e alongada planície, desprovida de vegetação arbórea, cercada de todos os lados por mata nativa, e considerando que esta mata nativa é, atualmente, a maior restrição ao avanço da lavra, pode-se calcular um volume de reserva lavrável. A distribuição espacial dessas reservas e dos polígonos de cubagem está ilustrada na figura 8.

A tabela 1 apresenta as reservas minerais da jazida da Mineração Corrêa.

Tabela 1 – Reservas minerais da jazida da Mineração Corrêa.

Tipo de reserva	Volume (m ³)
Reserva medida	1.990.975
Reserva indicada	3.057.409
Reserva lavrável	1.110.716

5.5. PRODUÇÃO E VIDA ÚTIL

O mercado consumidor da areia produzida em Subaúma, devido à sua localização e uso previsto para o agregado, restringe-se, atualmente, à Baixada Santista, Litoral Sul e Vale do Ribeira. Levando-se em conta que a distância de transporte é um fator decisivo no mercado de agregados para construção civil, conclui-se que a areia de Subaúma pode abastecer esta região.

Considerando-se apenas a reserva lavrável, uma produção estimada de 5.000 m³ mensais, e aplicando-se um fator de empolamento para areia de 1,2 (valor médio para areias inconsolidadas, de acordo com Caterpillar, 1996), tem-se uma vida útil estimada em 22 anos.

A produção de 5.000 m³ mensais é uma estimativa razoável, uma vez que a resolução da Secretaria do Meio Ambiente - SMA - nº 4 de 22.11.99 estabelece este volume de produção como limite quando da expedição da licença ambiental (empreendimentos cujo volume de produção é maior que este limite necessitam de um processo de licenciamento significativamente mais moroso e oneroso, que muitas vezes inviabiliza o investimento).

6. MÉTODO DE LAVRA E BENEFICIAMENTO

A lavra de areia para construção civil é uma das mais simples atividades de mineração, uma vez que não requer tecnologia muito avançada nem métodos muito complexos para sua realização.

As minerações de areia brasileiras são, quase sempre, empresas familiares de pequeno ou médio porte, e as técnicas aplicadas na lavra e beneficiamento são, via de regra, técnicas rudimentares que muitas vezes resultam num aproveitamento inadequado da jazida.

O método de lavra depende principalmente do tipo de depósito, de suas características e de restrições de ordem técnica e ambiental.

São três os métodos usuais na lavra de areia: extração em cava submersa, extração em cava seca e extração em leito fluvial. O método atualmente empregado na Mineração Corrêa, é o da extração em cava submersa. Esse método é eficaz, uma vez que o lençol freático é atingido em pouco mais de um metro de profundidade, e o depósito, que consiste de material inconsolidado, pode ser facilmente dragado.

6.1. LAVRA EM CAVA SUBMERSA

De acordo com Valverde (1997), a cava submersa é um método de lavra em que a escavação é realizada no piso e nos taludes de uma cava preenchida com água. Esse método é mais comumente empregado na região do Vale do Paraíba.

A principal característica desse método consiste na utilização de uma draga estacionária, munida de bombas centrífugas (de mistura e de água limpa), todas acionadas por meio de polias, por um único motor diesel.

Um feixe paralelo de tubulações é acoplado às bombas, um conduto de água serve para jatear o depósito de material arenoso, provocando a escavação e revolvimento das paredes da cava, enquanto o outro tem a função de realizar o recalque da mistura (polpa).

A polpa é descarregada, por meio de tubos, em barcaças que possuem compartimentos de carga ou câmaras estanques. Os finos são descartados na própria cava, por transbordamento do sobrenadante do compartimento de carga das barcaças, ocorrendo a primeira seleção granulométrica.

Essas barcaças (também chamadas de batelões) são conduzidas por rebocadores até as margens da cava onde é feito o descarregamento. O descarregamento é realizado pela abertura das comportas de fundo, o que provoca a deposição da areia no leito da cava. Esta areia é então bombeada por meio de uma draga estacionária para a área de beneficiamento. Esse processo permite a relavagem do material, auxiliando assim, a remoção dos finos (Macedo, *et al.*, 1985)

Em algumas minerações, as barcaças são equipadas com bomba de sucção e recalque, que realiza tanto o carregamento quanto o descarregamento sem a necessidade de uma draga embarcada e uma draga estacionária, e o bombeamento do material é feito diretamente do barco para a unidade de beneficiamento. Esse método de lavra pode variar conforme as peculiaridades de cada mineração.

Devido ao tamanho reduzido da cava da Mineração Corrêa, a extração de areia é realizada por meio de uma draga que conduz a polpa diretamente às instalações de beneficiamento, sem a necessidade de transporte do material por meio de barco (foto 6).



Foto 6 - Draga para extração de areia na Mineração Corrêa.

6.2. BENEFICIAMENTO

Na grande maioria das minerações de areia do Estado de São Paulo, as operações de beneficiamento consistem simplesmente na separação do material mais grosso (cascalho,

fragmentos vegetais, torrões de argila, etc.) por meio de uma grelha ou peneira estática. Dependendo das características do depósito e da areia, esse método é satisfatório e garante um produto que atende as exigências do mercado.

Muitas vezes, porém, e dependendo do uso previsto para a areia, há necessidade de um beneficiamento mais elaborado e eficiente.

De acordo com Whitaker (2001), as operações unitárias aplicadas no beneficiamento das areias para construção civil são: lavagem da superfície e desagregação dos grãos e até de partículas mecanicamente frágeis; peneiramento das frações granulométricas relativamente mais grossas; classificação e deslamagem das frações relativamente mais finas e desaguamento (em muitos casos realizados naturalmente em pilhas).

6.2.1. Lavagem e desagregação

A operação de lavagem e desagregação é de grande importância em areias provenientes de cavas secas em depósitos areno-argilosos. Esta operação é realizada antes do peneiramento ou da classificação.

Consiste do revolvimento de partículas suspensas na polpa, em equipamentos apropriados (*log washer* e *scrubber*), que promovem a desagregação e lavagem das partículas menos consolidadas e recobertas por silte e/ou argila. O *overflow* constituído de silte e argila é descartado em um tanque ou bacia de decantação. O material limpo é descarregado por *underflow*.

Na Mineração Corrêa, a lavagem e desagregação é realizada naturalmente, durante o processo de extração, não sendo empregado nenhum equipamento específico após a extração.

6.2.2. Peneiramento

Segundo Whitaker (*op. cit.*), o peneiramento é a operação de separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. Cada partícula pode passar ou ficar retida. Os produtos chamam-se *oversize* (ou retido) e *undersize* (ou passante), respectivamente.

Chaves (1999, *apud* Whitaker, 2001) relata que, como faixa de tamanho de partículas minerais passíveis de peneiramento pode-se considerar desde matações de 0,46 m até partículas de 0,130 mm.

O processo de peneiramento na Mineração Corrêa é realizado por uma peneira estática que separa o material grosso constituído principalmente por cascalho (foto 7).



Foto 7 - Material separado por peneira estática.

6.2.3. Classificação

Classificação, de acordo com Chaves (1996a, *apud* Whitaker, *op. cit.*), é a operação unitária de tratamento de minérios que consiste em separar uma população de partículas em duas outras populações: uma com proporção significativamente maior de partículas grossas e outra com proporção significativamente maior de partículas finas. Esta separação na classificação, diferentemente da separação por peneiramento, é feita em função do diâmetro hidráulico equivalente da partícula, isto é, diâmetro da esfera de mesmo volume que a partícula. Esse diâmetro é calculado a partir da “velocidade terminal”, que é medida deixando-se uma partícula afundar em um meio fluido de viscosidade conhecida.

Nas minerações de areia, a classificação é geralmente realizada em meio aquoso (classificação hidráulica). A separação de frações minerais com natureza (tamanhos,

formas e densidade específica) mais homogênea é alcançada pela possibilidade dessas sedimentarem na polpa que está em repouso ou em movimento. Uma partícula em sedimentação no fluido sob a influência da gravidade sofre uma resistência viscosa e atinge uma velocidade máxima constante (velocidade terminal de sedimentação) quando a resistência iguala o peso efetivo da partícula. Esta velocidade é função da viscosidade e densidade do fluido, densidade e diâmetro do sólido e aceleração da gravidade.

Existem diversos equipamentos de classificação, sendo que os mais utilizados na mineração de areia são: hidrociclones, classificadores espirais, cones e caixas de sedimentação.

Na Mineração Corrêa são produzidos atualmente, três tipos de areia, diferentes quanto a sua composição granulométrica. A classificação é realizada por meio de caixas de sedimentação (foto 8), e os produtos gerados são denominados comercialmente de “areia fina”, “areia fina-média” e “areia média-grossa”.



Foto 8 - Caixas de sedimentação da Mineração Corrêa.

6.2.4. Desaguamento

A operação de desaguamento é simplesmente a eliminação do excesso de água do produto final. Esta operação pode ser realizada por meio de equipamentos como peneiras desaguadoras, ciclones e classificadores espirais. É comum, porém, o desaguamento ser realizado nas próprias pilhas de areia nos pátios de estocagem.

Conforme Whitaker (2001), as pilhas de estocagem, geralmente cônicas, são construídas numa área onde possam ser criadas no mínimo três unidades. Assim, enquanto uma pilha está sendo construída, outra está secando e a terceira, já seca, é retomada para atendimento aos clientes. Esse é um processo barato e eficiente, porém requer grande espaço físico.

Na Mineração Corrêa, o material extraído por meio de uma draga embarcada é conduzido por tubulação de 8” até as caixas de sedimentação, passando antes por uma peneira estática que separa o rejeito grosso. A areia é então depositada em um pátio de estocagem e o rejeito fino (argila e silte) é conduzido à um tanque de decantação, juntamente com a água em excesso, que retorna à cava, clarificada. A figura 10 apresenta o fluxograma de produção na Mineração Corrêa.

6.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MINERAÇÃO DE AREIA E O MEIO AMBIENTE

Desenvolvimento sustentável e mineração é um tema que tem sido amplamente discutido em escala mundial. Langer *et al.* (2003) afirma que desenvolvimento sustentável está baseado em uma visão compreensiva e pós-moderna dos sistemas social, econômico e ambiental, como sendo sistemas abertos, dinâmicos e integrados.

O conceito de sustentabilidade é definido por Langer *et al.* (*op. cit.*) como o intercâmbio entre objetivos conflitantes, e, geralmente, a população discorda do equilíbrio entre prosperidade econômica, igualdade social e preservação ambiental.

Langer *et al.* (*op. cit.*) cita diversos fatores que diferenciam a extração de agregados dos demais bens minerais, como grande número de áreas com potencial de extração, baixo valor agregado, significativamente diferentes impactos ambientais e importância regional, e um raio de transporte reduzido.

A atividade de mineração, como qualquer outra atividade que interfira no meio-ambiente, gera impactos ambientais, às vezes mais, às vezes menos intensos. No caso específico da mineração de areia pelo método de cava submersa, os impactos ambientais mais importantes são: supressão da vegetação original e da camada de solo fértil, instabilização dos taludes da cava e poluição visual.

Uma gestão inadequada do empreendimento, cuja adoção de medidas preventivas que objetivem a preservação ambiental não é considerada, pode ocasionar outros impactos, como, por exemplo: poluição das águas superficiais e subterrâneas, a partir do vazamento de combustíveis e lubrificantes, turvamento das águas superficiais, a partir do lançamento de rejeitos finos sem a prévia decantação, e geração de ruídos.

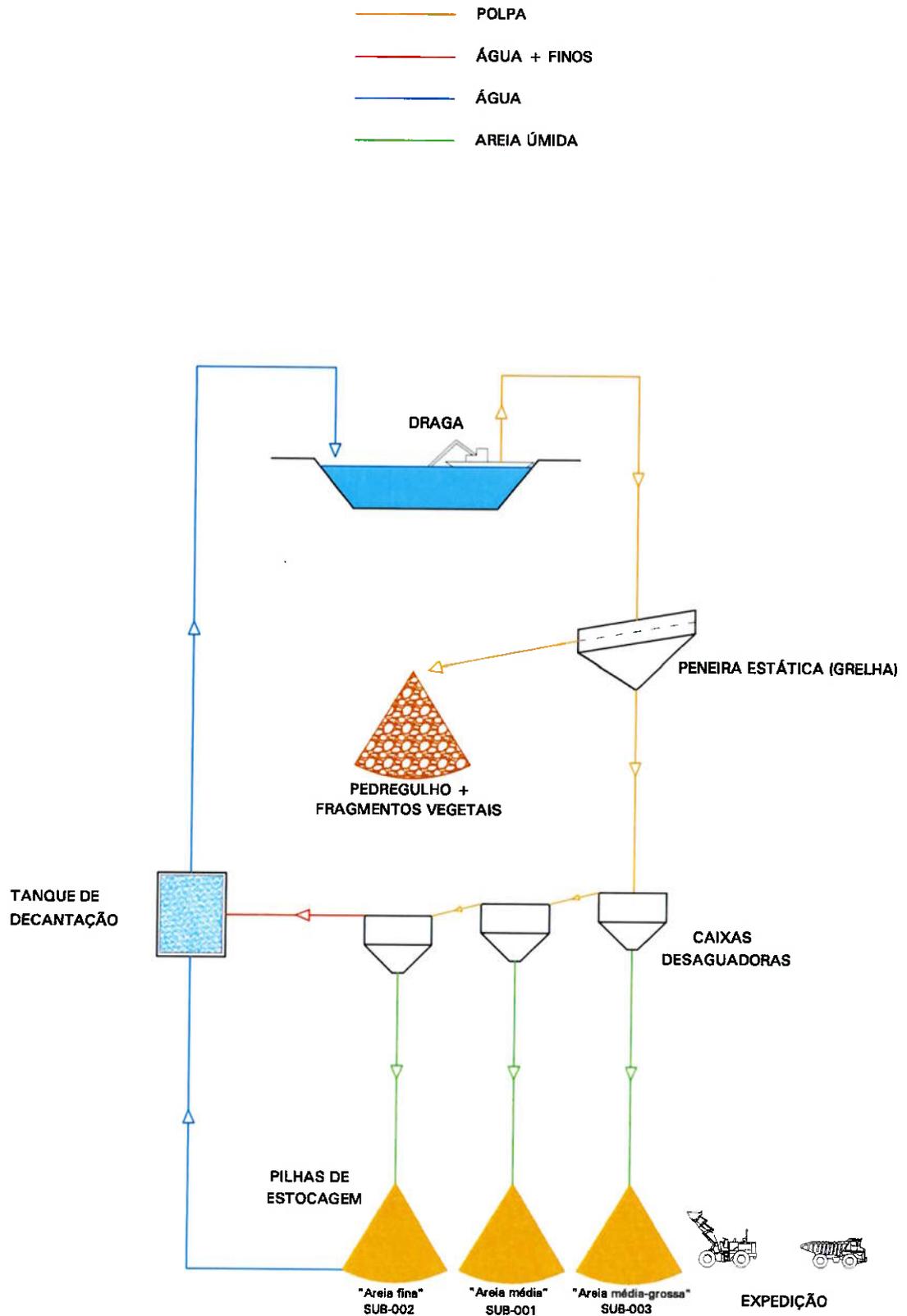


Figura 10 - Fluxograma de produção da Mineração Corrêa.

Tais impactos podem ser eficientemente controlados a partir da aplicação de um plano de controle ambiental, dimensionado para cada tipo de mineração. Este plano deve prever a manutenção periódica dos equipamentos, correta estocagem dos combustíveis e lubrificantes e implantação de um adequado sistema de decantação de finos antes de devolver a água de retorno à coleção hídrica superficial, observação periódica dos indicativos de estabilidade dos taludes, implantação de cortina vegetal, entre outros.

Após a exaustão da jazida, o passivo ambiental ainda é grande, pois restará uma grande cava preenchida com água, que deverá ser recuperada ou reabilitada.

Muitas vezes é economicamente inviável retornar o sítio lavrado às condições iniciais. Há porém, a possibilidade de recuperar o local degradado, considerando um uso futuro compatível com as condições existentes, conforme as propostas do próprio empreendedor. Este projeto de recuperação deve ser concebido considerando a vocação econômica regional.

A região do Baixo Vale do Ribeira e o Litoral Sul do Estado de São Paulo é muito procurada para turismo, devido a sua riqueza ambiental, marcada pela exuberância de fauna e flora, grandes áreas de mata atlântica preservada, diversidade de rios, cachoeiras e praias, além da importância histórica de cidades como Iguape e Cananéia. Esta, talvez, seja a vocação mais marcante da região.

Neste contexto, são diversas as opções para uso futuro da cava e seu entorno, que podem ser implantados após o término das atividades de mineração. Atualmente, são conhecidos diversos projetos de recuperação de cavas de areia e argila que obtiveram sucesso em suas propostas de readequação ambiental do sítio degradado.

Diversas ações tem sido postas em prática na região para integrar a mineração, a sociedade e o meio ambiente, como o já citado projeto Viva Ribeira da AMAVRI. Em diversos casos, a mineração pode se tornar o vetor que integra a prosperidade econômica, a igualdade social e a preservação ambiental.

7. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

7.1. INTRODUÇÃO

Conforme Frazão (2002), as rochas e os materiais pétreos em geral devem passar por uma caracterização tecnológica antes de serem utilizadas na construção. Tal caracterização deve, contudo, ser executada por procedimentos padronizados, tanto para os ensaios, como para as determinações e análises.

A padronização dos procedimentos é dita normalização e o produto é chamado de norma. A normalização é, em geral, estabelecida inicialmente pelos especialistas no assunto tratado, seja nos setores que delas necessitam, seja nos foros constituídos pelas entidades normalizadoras (Frazão, *op. cit.*)

A definição clássica de “norma técnica”, segundo Sbrighi Neto (2001), é: “o produto de um processo de sistematização realizado em um certo âmbito, sobre determinado assunto técnico com participação dos interessados e aprovado por uma autoridade reconhecida. Uma norma técnica é um documento que equaliza os interesses técnicos do produtor e do consumidor, isso tudo endossado por uma autoridade reconhecida”.

Para a determinação das características tecnológicas da areia estudada foi utilizado como critério principal neste estudo a normalização da ABNT e do CMN (*Comité Mercosur de Normalizacion*). É importante ressaltar, porém, que existem outros órgãos nacionais que propõem métodos de ensaios específicos e sugerem parâmetros exclusivos para caracterização de agregados miúdos, como o DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem), mais voltado à pavimentação, e o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

A normalização proposta pela ABNT e CMN foi adotada neste estudo devido ao uso proposto para a areia (agregado para concretos) e devido à ampla difusão e aceitação das normas destas entidades na indústria nacional da construção civil.

A norma que fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados miúdos e graúdos, de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas e destinados à produção de concretos é a norma NBR 7211 (ABNT, 1983). Esta norma define como parâmetros importantes na caracterização tecnológica das areias utilizadas como agregado miúdo, a granulometria, o módulo de finura e a presença de substâncias nocivas (ou deletérias).

Muitos autores têm se aprofundado ao longo dos anos no estudo das características dos agregados miúdos (Petrucci, 1971; Ferreira, 1985; Metha, 1986; Prentice, 1990; Helene & Terzian, 1992; Sbrighi Neto, 2000; e Frazão, 2002) avaliando diferentes propriedades que consideram importantes no uso das areias como agregado. Algumas destas propriedades (como por exemplo, distribuição granulométrica, composição mineralógica, massa específica, massa unitária, absorção de água e presença de substâncias nocivas) podem ser determinadas a partir de ensaios normalizados. Outras propriedades (como, por exemplo, forma e textura superficial dos grãos) são difíceis de se quantificar, tornando sua análise subjetiva e quase sempre visual. Sabe-se, porém, que a influência destas propriedades nos concretos e argamassas é relevante e pode ser avaliada a partir de ensaios específicos em misturas no estado fresco e endurecido.

Metha (*op. cit.*) afirma que a porosidade ou massa unitária, composição granulométrica e forma e textura superficial dos grãos determinam as propriedades plásticas do concreto no estado fresco. Além da porosidade, a composição mineralógica afeta sua resistência à compressão, dureza, módulo de elasticidade e sanidade, que por sua vez influenciam várias propriedades do concreto endurecido elaborado com este agregado.

A figura 11 apresenta um diagrama das várias interrelações entre as características do agregado e do concreto. A partir deste diagrama, Metha (*op. cit.*) afirma que as características dos agregados significantes para a tecnologia do concreto são decorrentes da microestrutura, das condições prévias de exposição e do processo de fabricação.

Considerando-se as especificações técnicas exigidas pelo mercado, Sbrighi Neto (*op. cit.*) propõe os seguintes parâmetros importantes na escolha de agregados para concretos:

- adequada curva granulométrica;
- estabilidade dos grãos minerais;
- isenção de impurezas;
- resistência mecânica compatível;
- forma e textura superficial;
- módulo de elasticidade;
- dureza;
- absorção de água; e
- massa específica.

No presente estudo prioriza-se os parâmetros definidos como essenciais para o cumprimento das exigências da norma NBR 7211 (ABNT, 1983). As outras características não especificadas nesta norma e que podem ser relevantes em algumas situações específicas e destinações dadas ao concreto, são, também, abordadas.

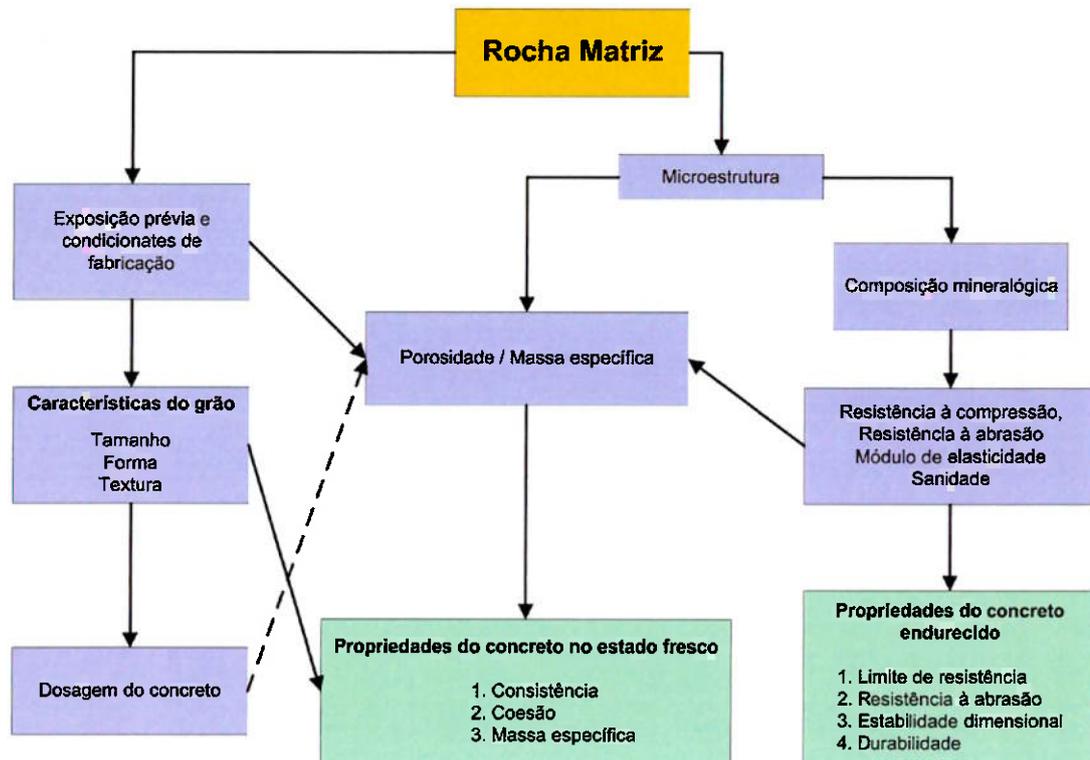


Figura 11 - Diagrama ilustrativo das interrelações entre características do agregado e propriedades do concreto (modificado de Metha, 1986).

Para o presente estudo adotou-se a definição de Ferreira (1985), que agrupa as propriedades do agregado em duas categorias:

- **parâmetros tecnológicos** - que engloba a distribuição granulométrica, módulo de finura, composição mineralógica, forma e textura superficial dos grãos, massa específica e massa unitária; e
- **índices de qualidade** - que inclui absorção de água e substâncias deletérias (teor de argila em torrões, materiais pulverulentos, minerais deletérios e partículas mecanicamente frágeis).

É importante ressaltar que os parâmetros tecnológicos da areia têm a finalidade de classificá-la como agregado miúdo, enquanto os índices de qualidade do agregado miúdo apenas avaliam a sua potencialidade e restrições de uso em concretos.

As normas utilizadas como referência na caracterização tecnológica das areias estudadas foram as seguintes:

- NBR 7211 - Agregados para Concreto. Especificação (ABNT, 1983);
- NM 248 - Agregado fino - Determinação da composição granulométrica (CMN, 2001c). Esta norma substitui a antiga NBR 7217 (ABNT, 1987a);

- NM 44 - Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (CMN, 1995a). Esta norma substitui a antiga NBR 7218 (ABNT, 1987b);
- NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros por lavagem (CMN, 1995c). Esta norma substitui a antiga NBR 7219 (ABNT, 1987c);
- NM 49 - Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas (CMN, 2001b). Esta norma substitui a antiga NBR 7220 (ABNT, 1984);
- NBR 7221 - Agregados - Ensaio de qualidade de agregado miúdo. Método de ensaio (ABNT, 1987d);
- NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e dos espaços vazios (CMN, 1995b). Esta norma substitui a antiga NBR 7251 (ABNT, 1982a);
- NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Método de ensaio (ABNT, 1987e);
- NM 54 - Agregado para concreto - Exame petrográfico (CMN, 1996). Esta norma substitui a antiga NBR 7389 (ABNT, 1992); e
- NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água (CMN, 2001a).

7.2. AMOSTRAGEM

A amostragem do material para estudo (foto 9) foi executada em três pilhas de estocagem distintas; para cada amostra, foram coletados aproximadamente 40 Kg de material. As amostras foram compostas a partir da coleta de diversas porções em pontos distintos de cada pilha, visando minimizar as diferenças granulométricas resultantes da segregação dos grãos durante a estocagem e obter melhor representatividade do produto, e foram ensacadas e identificadas como SUB-001, SUB-002 e SUB-003.

A amostra denominada SUB-001 foi coletada da pilha cuja a areia é comercializada como “areia média-grossa”, a amostra SUB-002 foi coletada da pilha cuja areia é comercializada como “areia fina”, e a amostra SUB-003 foi coletada da pilha cuja areia é comercializada como “areia fina-média”.



Foto 9 - Coleta de areia sendo realizada em uma das pilhas de estocagem.

7.3. PARÂMETROS TECNOLÓGICOS

7.3.1. Composição granulométrica

Denomina-se composição granulométrica de um agregado miúdo a proporção relativa, expressa em porcentagem, dos diferentes tamanhos de grãos que se encontram constituindo o todo (Petrucci, 1971).

A composição granulométrica dos agregados é considerada por muitos autores como o parâmetro mais importante na elaboração de concretos. Metha (1986) enumera diversas razões porque a composição granulométrica juntamente com o diâmetro máximo do agregado devem ser especificados, sendo a trabalhabilidade e economicidade da mistura das mais importantes.

De acordo com Sbrighi Neto (2000), a curva granulométrica dos agregados para concreto deve ser adequada de modo que resulte, com o cimento Portland e água, numa mistura que endurecida apresente o menor volume de vazios, ou seja, a maior compactidade possível. Quanto mais compacto for o material resultante, maior será sua resistência mecânica, e menor será sua susceptibilidade ao aporte de fluidos agressivos que possam comprometer sua durabilidade. A situação ideal para um material compacto e com boa distribuição granulométrica é aquela na qual os grãos menores ocupem os espaços vazios entre os grãos imediatamente maiores, de modo que o volume de espaços vazios seja o menor possível, e a quantidade de pasta (água + cimento) para envolver os grãos seja mínima.

Conforme a norma NBR 7211 (ABNT, 1983), a composição granulométrica deve cumprir os limites de somente uma das zonas indicadas na tabela 2, sendo que agregados miúdos com especificações granulométricas que não se enquadram em qualquer uma dessas zonas podem ser utilizados desde que sejam realizados estudos prévios de dosagem ou que a faixa granulométrica seja de uso consagrado em determinada região.

Tabela 2 - Limites granulométricos de agregado miúdo.

Peneira ABNT	Porcentagem, em peso, retida acumulada na peneira ABNT, para a			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5 ^(A)	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5 ^(A)	0 a 15 ^(A)	0 a 25 ^(A)	5 ^(A) a 40
1,2 mm	0 a 10 ^(A)	0 a 25 ^(A)	10 ^(A) a 45 ^(A)	30 ^(A) a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3 mm	50 a 85 ^(A)	60 ^(A) a 88 ^(A)	70 ^(A) a 92 ^(A)	80 ^(A) a 95
0,15 mm	85 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100	90 ^(A) a 100

Fonte: ABNT (*op. cit.*)

(A) Pode haver uma tolerância de até um máximo de cinco unidades de porcento em um só dos limites marcados com a letra A ou distribuídos em vários deles.

(B) Para agregado miúdo resultante de britagem, esse limite pode ser 80

Os ensaios de determinação da composição granulométrica foram executados no Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP e no Laboratório de Concreto do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). O procedimento adotado para a preparação das amostras e elaboração dos ensaios foi baseado na norma NM 248 (CMN, 2001c), e pode ser resumido da seguinte forma:

- secagem das amostras em estufa à 105° C por 24 horas (foto 10);
- homogeneização das amostras (foto 11);
- separação de 3 alíquotas de aproximadamente 1 kg para peneiramento;
- pesagem da amostra inicial em balança de precisão (0,01g);
- peneiramento por 15 minutos em série de peneiras com as seguintes aberturas: 4,8mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm; e
- pesagem das frações em balança de precisão.



Foto 10 - Estufa utilizada para a secagem das amostras.



Foto 11 - Pilha de homogeneização da amostra e separação das alíquotas.

De acordo com o estabelecido na norma NBR 7211 (ABNT, 1983), as amostras SUB-001 e SUB-003 inserem-se na Zona 3 (areia média), enquanto que a amostra SUB-002 insere-se na Zona 1 (areia muito fina). O resultado das análises granulométricas, juntamente com as curvas granulométricas podem ser visualizados nas tabelas 3, 4 e 5 e figuras 12, 13 e 14.

Tabela 3 – Análise granulométrica da amostra SUB-001.

Tyler/Mesh	Abertura (mm)	Peso retido	Acumulado	
		%	Retido (%)	Passante (%)
#4	4,8	0,17	0,17	99,83
#8	2,4	5,06	5,23	94,77
#14	1,2	15,18	20,41	79,59
#28	0,6	35,99	56,39	43,61
#48	0,3	23,93	80,33	19,67
#100	0,15	17,06	97,39	2,61
#100 -	fundo	2,61	100,00	0,00
Total		100,0		
Módulo de Finura		2,60		

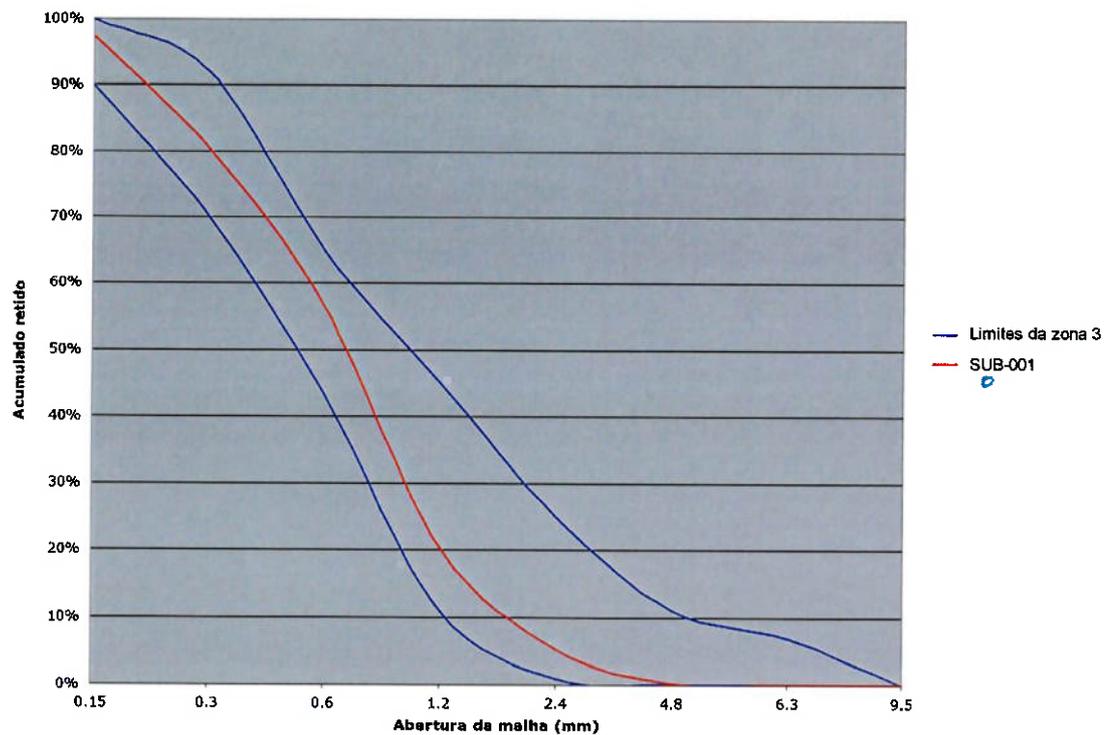
**Figura 12** - Curva de distribuição granulométrica da amostra SUB-001.

Tabela 4 - Análise granulométrica da amostra SUB-002.

Tyler/Mesh	Abertura (mm)	Peso retido	Acumulado	
		%	Retido (%)	Passante (%)
#4	4,8	0,00	0,00	100,00
#8	2,4	0,82	0,82	99,18
#14	1,2	2,55	3,37	96,63
#28	0,6	5,96	9,33	90,67
#48	0,3	33,52	42,85	57,15
#100	0,15	51,52	94,37	5,63
#100 -	fundo	5,63	100,00	0,00
Total		100,0		
Módulo de Finura		1,51		

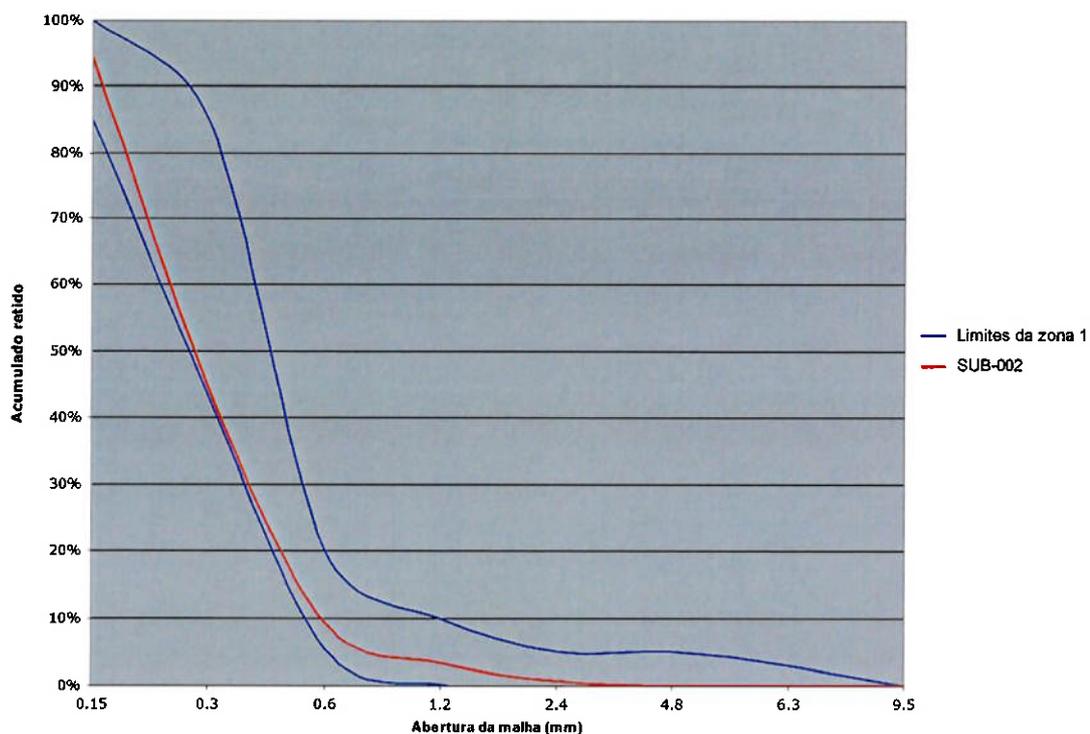
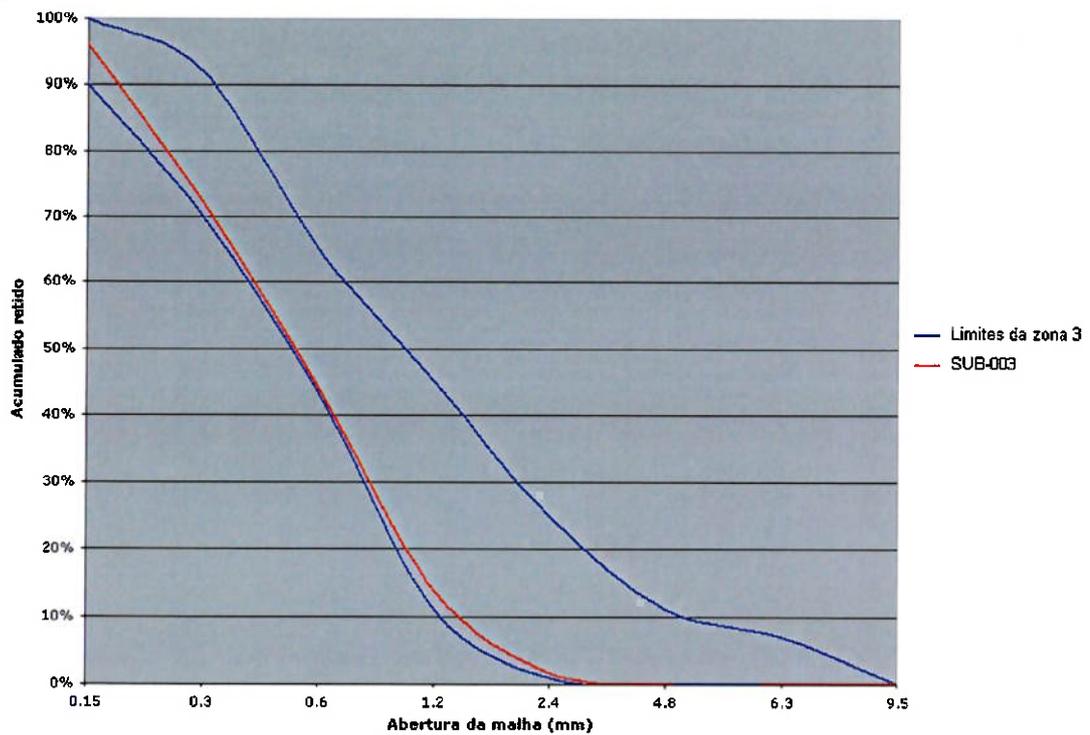
**Figura 13** - Curva de distribuição granulométrica da amostra SUB-002.

Tabela 5 – Análise granulométrica da amostra SUB-003.

Tyler/Mesh	Abertura (mm)	Peso retido	Acumulado	
		%	Retido (%)	Passante (%)
#4	4,8	0,03	0,03	99,97
#8	2,4	1,72	1,75	98,25
#14	1,2	12,20	13,95	86,05
#28	0,6	28,63	42,59	57,41
#48	0,3	28,29	70,88	29,12
#100	0,15	25,28	96,15	3,85
#100 -	fundo	3,85	100,00	0,00
Total		100,0		
Módulo de Finura		2,25		

**Figura 14** - Curva de distribuição granulométrica da amostra SUB-003.

7.3.1.1 Coeficiente de uniformidade e distribuição granulométrica ideal

Uma das formas de se avaliar a curva de distribuição granulométrica de uma determinada areia é adotando-se o conceito de uniformidade da distribuição granulométrica, expressa pelo coeficiente de uniformidade (C). O coeficiente de uniformidade é definido como a relação D_{60}/D_{10} , tomados da curva granulométrica traçada em papel mono-log (Figura 15), onde D_{60} é o diâmetro, em milímetros, o qual 60% em massa das partículas da amostra é menor (passante) e D_{10} é o diâmetro o qual 10% é passante.

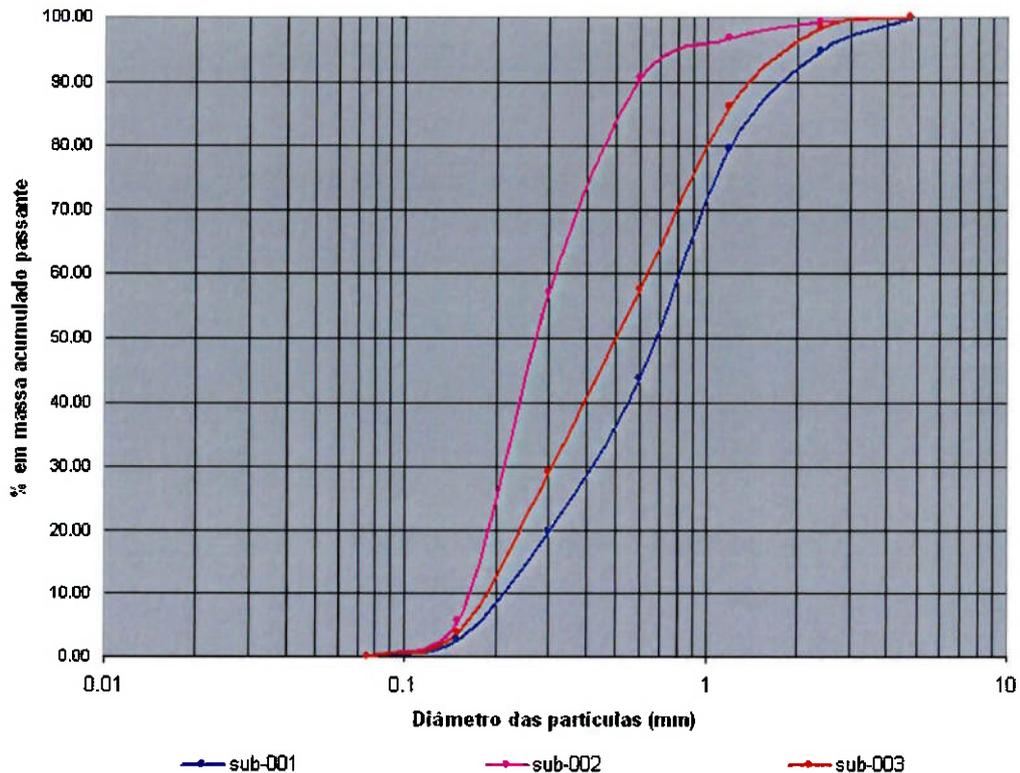


Figura 15 - Curvas de distribuição granulométrica.

O coeficiente de uniformidade indica a inclinação da curva granulométrica, na sua região central (assumindo uma distribuição linear). Coeficientes de uniformidade baixos indicam má distribuição granulométrica, ou seja, concentrações maiores de grãos com diâmetros semelhantes. Coeficientes de uniformidade altos indicam boa distribuição granulométrica, ou seja, grãos de várias dimensões ocorrendo em quantidades semelhantes.

De acordo com Carneiro & Cincotto (1999), são consideradas areias muito uniformes as que apresentam $C < 5$, de uniformidade média as que apresentam $5 < C < 15$ e desuniformes as que apresentam $C > 15$. Este parâmetro não é considerado suficiente para definir a granulometria de uma areia pois duas areias de composição granulométrica diferentes podem ter o mesmo coeficiente de uniformidade.

Os coeficientes de uniformidade obtidos a partir das curvas de distribuição granulométrica das areias analisadas, podem ser visualizados na tabela 6.

Tabela 6 - Coeficientes de uniformidade.

Amostra	Coeficiente de uniformidade
SUB-001	3,46
SUB-002	1,72
SUB-003	2,91

Dos coeficientes de uniformidade obtidos, e considerando a classificação proposta por Carneiro & Cincotto (1999), conclui-se que todas as amostras são muito uniformes ($C < 5$). Comparando as três areias entre si, a amostra SUB-001 é a que possui melhor distribuição dos tamanhos dos grãos (distribuição menos uniforme), porém, apresentando acúmulo maior de massa na peneira com malha de abertura 0,6 mm (35,99% retido). A amostra SUB-002 é a que apresenta maior uniformidade, com maior acúmulo de massa na peneira com malha de abertura 0,15 mm (51,52% retido). A amostra SUB-003 apresenta acúmulos de massa maiores nas peneiras de aberturas 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm, e tem uniformidade intermediária entre as duas outras amostras.

Uma das questões mais relevantes na indústria de agregados para concretos e argamassas refere-se à graduação do agregado, ou seja, a distribuição granulométrica ideal. Esta questão é bastante polêmica, e depende de diversos fatores como propriedades do material, do produto desejado e do ambiente em que será utilizado, entre outros.

Usualmente, a distribuição granulométrica ideal é aquela que produz um adensamento máximo. É importante ressaltar, porém, que para certos usos como pavimentação, é desejável que haja uma quantidade mínima de vazios suficientes para serem preenchidos com o ligante betuminoso.

Como citado por Sbrighi Neto (2000) e Hennies & Ayres da Silva (1994), para um arranjo mais adensado, é aconselhável uma mistura de grãos cujos interstícios entre os grãos individuais sejam os menores possíveis, de tal modo que os espaços dos grãos maiores sejam preenchidos pelos grãos menores. A relação matemática ideal para o caso de grãos esféricos foi proposta por Fuller & Thompson (1907 *apud* Hotmix, 2003) de acordo com a seguinte expressão, comumente referida como curva de máximo adensamento de Fuller:

$$A = 100 (d/D)^n \quad (1)$$

onde,

n parâmetro que ajusta a curva de acordo com a forma da partícula

A quantidade passante

d dimensão da malha em mm

D maior dimensão de grão em mm

O expoente da equação (n) pode mudar conforme a forma das partículas. Fuller & Thompson (1907 *apud* Hotmix, 2003) propõem, para partículas ideais de forma esférica, o expoente $n = 0,5$. De acordo com Hennies & Ayres da Silva (1994), para cascalho e areia de rios, cujos grãos não são perfeitamente esféricos, pode-se aplicar o expoente $n = 0,4$. Hotmix (*op. cit.*), porém, utiliza o expoente $n = 0,45$, embasado no estudo de Roberts *et al.* (1996 *apud* Hotmix, *op. cit.*).

Um agregado com distribuição granulométrica próxima da ideal pode ser obtido por classificação e mistura programada das várias classes de grãos, durante o processo de beneficiamento do minério. Shakhmenko & Birsh (1998) propõem um método numérico de dosagem de concretos a partir de agregados com diferentes distribuições granulométricas, aplicando o conceito de curvas de máximo adensamento de Fuller.

A figura 16 ilustra algumas distribuições granulométricas ideais para máximo adensamento dos grãos, de acordo com o diâmetro máximo do agregado.

De maneira semelhante à classificação de Carneiro & Cincotto (1999), Hotmix (*op. cit.*) define alguns termos usualmente empregados quando da classificação da graduação de um agregado, sejam eles:

- **Adensado ou com boa graduação** – refere-se a um agregado com graduação próxima à curva ideal de adensamento máxima (utilizando-se o expoente $n = 0,45$).
- **Com graduação aberta** – refere-se a um agregado cuja distribuição granulométrica apresenta apenas uma pequena porcentagem de partículas nas frações mais finas. A curva característica é aproximadamente vertical na região central e horizontalizada nas extremidades.
- **Com graduação uniforme** – refere-se a um agregado cuja distribuição granulométrica apresenta a maioria das partículas com tamanhos semelhantes. A curva característica é aproximadamente vertical e ocupa uma faixa bastante estreita do gráfico.

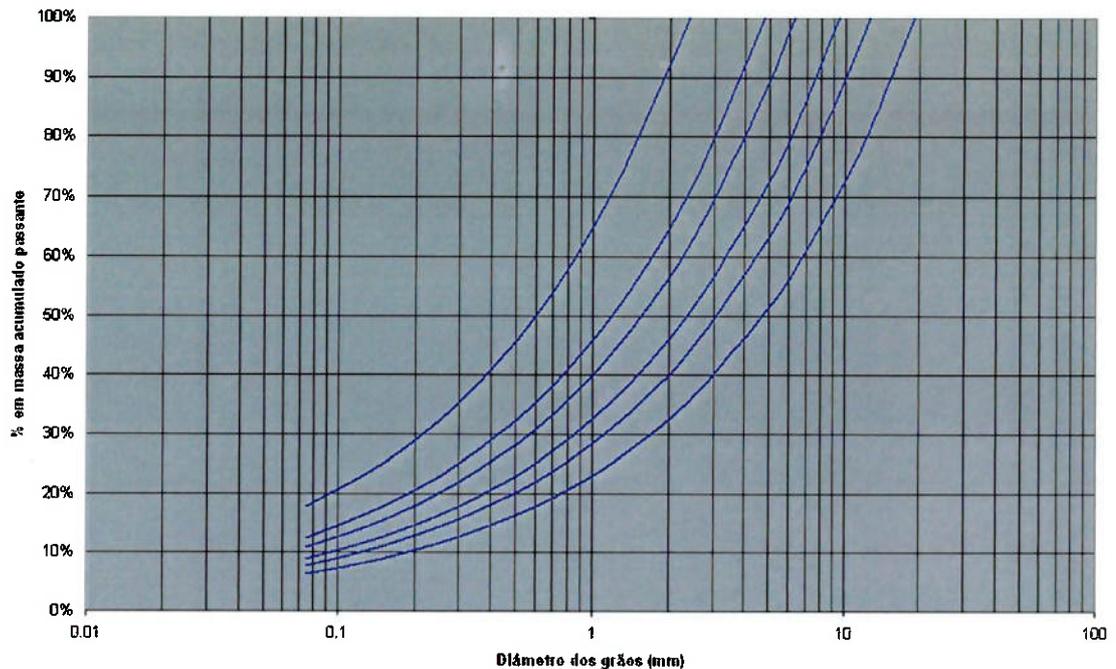


Figura 16 - Curvas de distribuição granulométrica ideais para adensamento máximo das partículas, conforme a equação 1, utilizando-se expoente $n = 0,45$.

Além destas classificações, Hotmix (2003) define um agregado com graduação fina aquele que apresenta uma curva de distribuição granulométrica que situa-se na maior parte acima da curva ideal de adensamento máximo com expoente $n = 0,45$, e com graduação grossa aquele que apresenta uma distribuição granulométrica cuja curva situa-se na maior parte abaixo da curva ideal de adensamento máximo.

Considerando estas definições, as três areias estudadas apresentam graduação aberta, tendendo a uniforme, e todas apresentam graduação fina, como pode ser observado no gráfico da figura 17.

7.3.1.2 Módulo de finura e dimensão máxima característica

Além da distribuição do tamanho dos grãos, a análise granulométrica permite obter dois parâmetros de interesse: a dimensão máxima característica dos fragmentos e o módulo de finura (Frazão, 2002).

A dimensão máxima característica é a correspondente à abertura da malha na qual ocorre 5% do material retido acumulado, ou valor imediatamente inferior. As dimensões máximas características estão indicadas na tabela 7.

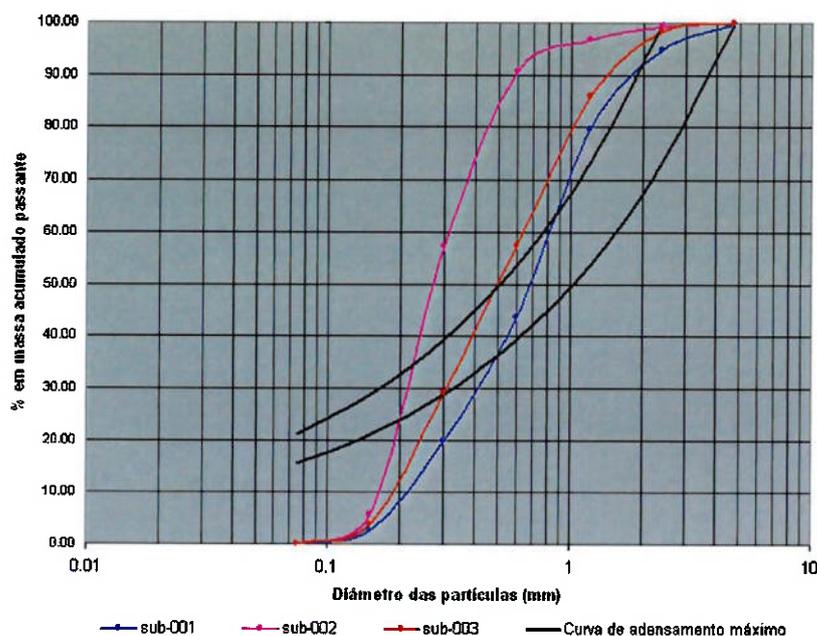


Figura 17 - Distribuição granulométrica das amostras e curvas ideais de adensamento máximo conforme a equação 1.

A Norma NM 248 (CMN, 2001c) estabelece que o módulo de finura (MF) é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100, desta forma, o MF é tanto maior quanto mais grosso for o agregado.

Tabela 7 – Dimensão máxima característica ($D_{m\acute{a}x}$).

Amostra	$D_{m\acute{a}x}$ característica (mm)
SUB-001	4,8 mm
SUB-002	2,4 mm
SUB-003	2,4 mm

O MF pode ser considerado, segundo Neville (1997), como uma abertura média ponderada de uma peneira onde o material é retido, contando-se as peneiras a partir da mais fina. Da mesma forma que o coeficiente de uniformidade, o MF não pode ser representativo de uma distribuição granulométrica, pois um mesmo MF pode representar um número infinito de distribuições de tamanhos ou curvas granulométricas completamente diferentes, mas é útil para detectar pequenas variações do agregado de uma mesma origem (Neville, *op. cit.*).

De acordo com Frazão (2002), apesar de diferentes distribuições granulométricas poderem fornecer um mesmo valor de MF, este parâmetro é útil na avaliação da distribuição granulométrica dos fragmentos. Pelo MF, pode-se classificar as areias destinadas ao concreto em: grossa ($MF > 3,9$), média ($2,4 < MF < 3,9$) e fina ($MF < 2,4$).

A única exigência com respeito ao MF de um agregado miúdo, cuja granulometria cumpre com qualquer uma das zonas indicadas, é que esse não deve variar em mais de 0,2 para o material de mesma origem.

A explicação para esta exigência é que uma diminuição de 0,2 do MF do agregado miúdo em um determinado concreto geralmente implica numa substituição de aproximadamente 3% da massa desse material por uma massa equivalente de agregado graúdo, para que se mantenham constantes as características do concreto. As análises granulométricas das amostras indicaram módulos de finura parecidos nas amostras SUB-001 e SUB-003. A amostra SUB-002 apresentou MF sensivelmente menor que as demais. Os valores de MF classificam as areias, de acordo com Frazão (2002), em areia fina (SUB-002) e areia média (SUB-001 e SUB-003). Os módulos de finura são mostrados na tabela 8.

Tabela 8 – Módulos de finura.

Amostra	Módulo de finura
SUB-001	2,60
SUB-002	1,51
SUB-003	2,25

7.3.2. Composição mineralógica

De acordo com Neville (1997), a classificação mineralógica auxilia no reconhecimento das propriedades do agregado, mas não pode fornecer uma base de previsão do seu desempenho no concreto. Neville (*op. cit.*) considera o exame mineralógico do agregado muito útil na avaliação da sua qualidade e, em particular, na comparação de um agregado ainda não usado com outro cujo desempenho já seja conhecido.

Certos tipos de minerais presentes no agregado podem comprometer a durabilidade do concreto produzido. Sbrighi Neto (2000) afirma que certos tipos de sílica não cristalina podem reagir com os álcalis do cimento Portland, resultando em compostos expansivos. Alguns tipos de argilominerais se hidratam, resultando também numa expansão. Estes processos de aumento de volume comprometem a estabilidade dimensional, gerando fissuras e outras deformações indesejáveis.

A composição mineralógica do agregado implica em outra característica muito importante em concretos, que é a dureza ou resistência ao risco com ponteira de aço (Sbrighi Neto, *op. cit.*).

Dependendo do tipo de obra onde o concreto é utilizado, esse fator pode ser muito relevante. Concretos ou pavimentos de estradas de rodagem, executados com agregado de composição calcária, podem sofrer um desgaste acelerado, pelo tráfego de veículos. Esse desgaste pode acarretar num aumento do risco de derrapagem, por causa do polimento prematuro do agregado exposto na superfície.

Por outro lado, há situações em que a baixa dureza do agregado pode ser vantajosa, como é o caso das argamassas de revestimento compostas por agregado de composição calcária. Nesse caso, ressalta a preferência dos empreiteiros pela utilização desse tipo de material na fase de acabamento, uma vez que o polimento da superfície das paredes para pintura é mais rápido, fácil e eficaz, em comparação com argamassas produzidas com agregado composto de grãos de quartzo.

A análise mineralógica das areias estudadas foi executada no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da EP-USP, por meio de uma lupa estereoscópica Zeiss. Os dados obtidos foram comparados com um laudo de apreciação petrográfica já existente, que forneceu a composição mineralógica da areia por frações, conforme a tabela 9.

Tabela 9 – Composição mineralógica da areia estudada.

Composição	Faixa granulométrica				
	2,4 a 4,8 mm	1,2 a 2,4 mm	0,6 a 1,2 mm	0,3 a 0,6 mm	0,15 a 0,3 mm
Quartzo	80 %	70 a 75 %	60 a 70 %	60 a 70 %	65 a 70 %
Feldspato	15 a 20 %	15 a 20 %	15 a 20 %	15 a 20 %	10 a 15 %
Carbonatos	< 5 %	< 5 %	-	-	-
Mica	-	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Agregados de óxido de ferro	-	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Aluminossilicatos	-	-	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Ilmenita / rutilo	-	-	-	< 5 %	5 a 7 %
Leucoxênio	-	-	-	< 5 %	5 %
Zircão	-	-	-	< 5 %	< 5 %

A norma da ABNT/CMN que rege sobre a determinação da composição mineralógica dos agregados é a NM 54 (CMN, 1996). A análise mineralógica indicou a predominância de quartzo em todas as frações. Esse mineral representa uma porcentagem estimada entre 60 e 80%. É notória, também, a presença de feldspato em todas as frações, em quantidades que variam de 10 a 20%.

Outros grupos de minerais identificados, que ocorrem em porcentagens reduzidas (menos de 5%), são: carbonatos, micas, agregados de óxido de ferro, aluminossilicatos, ilmenita/rutilo, leucoxênio e zircão.

7.3.3. Forma e textura superficial dos grãos

A forma e textura superficial dos grãos são características que influenciam com maior intensidade as propriedades do concreto no estado fresco que no estado endurecido. Comparado com grãos lisos, arredondados e esféricos, os grãos angulosos e alongados, com superfície áspera, requerem uma quantia maior de pasta de cimento para produzir misturas com mesma trabalhabilidade, aumentando assim o custo do concreto (Metha, 1986).

Grãos de areia provenientes de depósitos fluvioglaciais são os mais angulosos e com textura áspera. Grãos aluviais são mais arredondados, com uma superfície mais suave, porém freqüentemente portando cavidades. Grãos de areias de origem marinha são normalmente bem arredondados, com superfície lisa, e os grãos de areias eólicas são praticamente esféricos, com uma superfície muito lisa, quase polida. Agregados provenientes do britamento de rochas ou manto de intemperismo são sempre mais angulosos que areias naturais, e dentre estes tipos de agregados, a forma e textura dos grãos será, de certa forma controlada pelas estruturas e mineralogia original da rocha mãe (Prentice, 1990).

A norma NM 54 (CMN, 1996), que especifica o procedimento para realização da apreciação petrográfica dos agregados para concreto, define parâmetros referentes à forma e esfericidade dos grãos. Não há, porém, normalização específica para estes parâmetros.

Existem ensaios de determinação do “índice de forma e textura dos grãos”, a partir de imagens binárias geradas em lupas de aumento, como o conduzido por Zanchetta (2000) conforme o método da *American Society for Testing and Materials (ASTM) - D3398-81 - Index of aggregate particle shape and texture* (ASTM, 1981 *apud* Zanchetta, *op. cit.*). Estes estudos são muito trabalhosos e pouco conclusivos, como afirma Zanchetta (*op. cit.*), no estudo elaborado por ela.

Muitos autores tratam forma e textura superficial dos grãos de forma unificada, e muitas vezes estes conceitos se confundem. Para uma melhor compreensão, é importante que se definam estas propriedades de forma distinta.

7.3.3.1 Forma dos grãos

A forma dos grãos de areia é extremamente difícil de se medir, e nenhum método totalmente satisfatório foi criado. Como já apontado por Prentice (1990), apesar das medidas por meio de microscópio serem perfeitamente possíveis, elas são inviáveis pelo tempo que consomem. A maioria dos métodos atualmente empregados depende de comparação visual.

Prentice (*op. cit.*) define dois elementos distintos na forma de um grão: arredondamento e esfericidade.

Denomina-se arredondamento a propriedade que caracteriza o grau de desgaste das arestas dos grãos, ou seja, o seu grau de angulosidade. Pettijohn *et al.* (*apud* Prentice, *op. cit.*) determinam 6 classes (Figura 18) que variam de muito angulosos (grãos com arestas sãs) a muito arredondados (grãos com arestas bastante desgastadas). Esta propriedade depende muito da resistência à abrasão da rocha-mãe e das ações de desgaste a que o grão foi submetido (Neville, 1997).

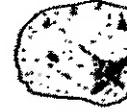
alta esfericidade						
baixa esfericidade						
	muito anguloso	anguloso	subanguloso	subarredondado	arredondado	muito arredondado

Figura 18 - Grau de arredondamento e esfericidade dos grãos (modificado de Prentice, *op. cit.*)

A esfericidade é a propriedade que caracteriza a forma dos grãos em relação a uma esfera perfeita. Pode ser descrita como a relação entre três dimensões de um grão: a mais longa ou comprimento (x), a mais curta ou espessura (z) e a intermediária ou largura (y).

Conforme os valores destas relações, são designadas 4 classes: Classe A ($x = y > z$), cujos grãos são denominados lamelares; Classe B ($x = y = z$), cujos grãos são denominados cúbicos ou esféricos; Classe C ($x \neq y \neq z$), cujos grãos são denominados alongados-lamelares; e Classe D ($x > y = z$), cujos grãos são denominados alongados.

Apesar de ser possível definir limites matemáticos para estas classes, conforme a figura 19, a maioria dos estudos classifica os grãos através de uma análise visual qualitativa.

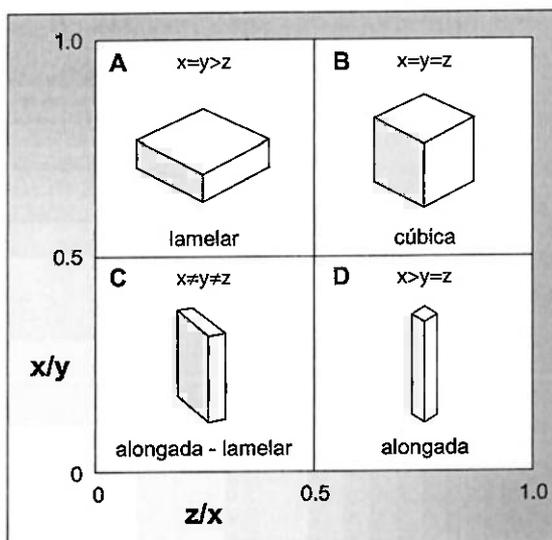


Figura 19 - Classes de forma de agregados (modificado de Frazão, 2002)

Considerando que o escopo do presente trabalho não é a determinação precisa da forma e textura dos grãos, a análise da areia em lupa possibilitou uma caracterização qualitativa destas propriedades nas diversas frações.

Esta análise indicou que, de modo geral, há um predomínio de grãos com forma esférica, tendendo a alongada (fotos 12 a 23). Nota-se que a esfericidade dos grãos independe da composição mineralógica dos mesmos, com exceção das micas (sempre lamelares).

As características mais marcantes da areia referem-se ao arredondamento dos grãos. Em todas as frações, observa-se grande heterogeneidade. O modo de ocorrência do quartzo é bastante peculiar. Não se nota um padrão de forma dos grãos no que diz respeito ao arredondamento, isto é, grãos angulosos ocorrem junto a grãos arredondados em proporções semelhantes (Fotos 19, 20 e 21). Dentre as diversas mineralogias que compõem a areia, feldspatos, carbonatos e outros minerais possuem, geralmente, arestas bastante angulosas.

A heterogeneidade de arredondamento dos grãos pode ser explicada pela mistura de material proveniente de diversas camadas durante o processo de dragagem. As camadas superiores, formadas em ambiente de praias intermarés, durante uma fase regressiva, são constituídas de grãos que, durante o retrabalhamento pela ação marinha, tiveram suas arestas bastante desgastados e foram polidos, através do atrito com outros grãos.

As camadas mais profundas, formadas em ambientes menos energéticos, contém grãos que não foram retrabalhados suficientemente a ponto de promover o intenso desgaste das arestas.

7.3.3.2 *Textura superficial*

Neville (1997) baseia a classificação da textura superficial no grau em que as superfícies dos grãos se apresentam polidas, opacas, lisas ou ásperas. Esta característica depende da dureza, tamanho do grão e porosidade da rocha mãe e sua exposição à forças de atrição.

Ferreira (1985), utilizando os padrões de normas britânicas, agrupa a textura superficial dos grãos em 6 classes:

- **Textura vítrea** – fratura conchoidal.
- **Textura lisa** – erodida pela água, ou lisa devido à fratura de rocha laminar ou finamente graduada.
- **Textura granular** – fraturas mostrando grãos arredondados mais ou menos uniformes.
- **Textura áspera** – fratura áspera de minerais finos ou medianamente graduados com constituintes cristalinos de difícil percepção visual (como exemplo, basalto).
- **Textura cristalina** – com constituintes cristalinos bem visíveis (granito).
- **Textura porosa** – com poros e cavidades visíveis (argila expandida, pedra pome).

Seja qual for a classificação adotada, a textura superficial dos grãos é feita de forma visual, qualitativamente.

A textura superficial dos grãos tem influência sobre a sua aderência à pasta de cimento e demanda de água da mistura. Há evidências que, pelo menos durante idades precoces, a resistência dos concretos, em especial a resistência a flexão, pode ser afetada pela textura do agregado. Uma textura mais áspera ajuda na formação de ligações mecânicas mais fortes entre a pasta de cimento e o agregado. Em idades avançadas, com a forte ligação química entre a pasta de cimento e o agregado, o efeito da textura superficial pode não ser mais tão importante (Metha, 1986).

Nota-se na areia estudada, que os grãos de quartzo podem ocorrer com superfícies extremamente polidas, ou com textura vítrea ou granular (foto 19). Nas frações mais grossas, os grãos apresentam textura mais áspera que nas frações mais finas (mais polidas). É notória, também, a presença de grãos de quartzo e feldspato portando pequenas cavidades superficiais preenchidas com material fino (fotos 17, 21 e 23). Grãos de outras composições mineralógicas possuem quase sempre, texturas porosas (foto 21).

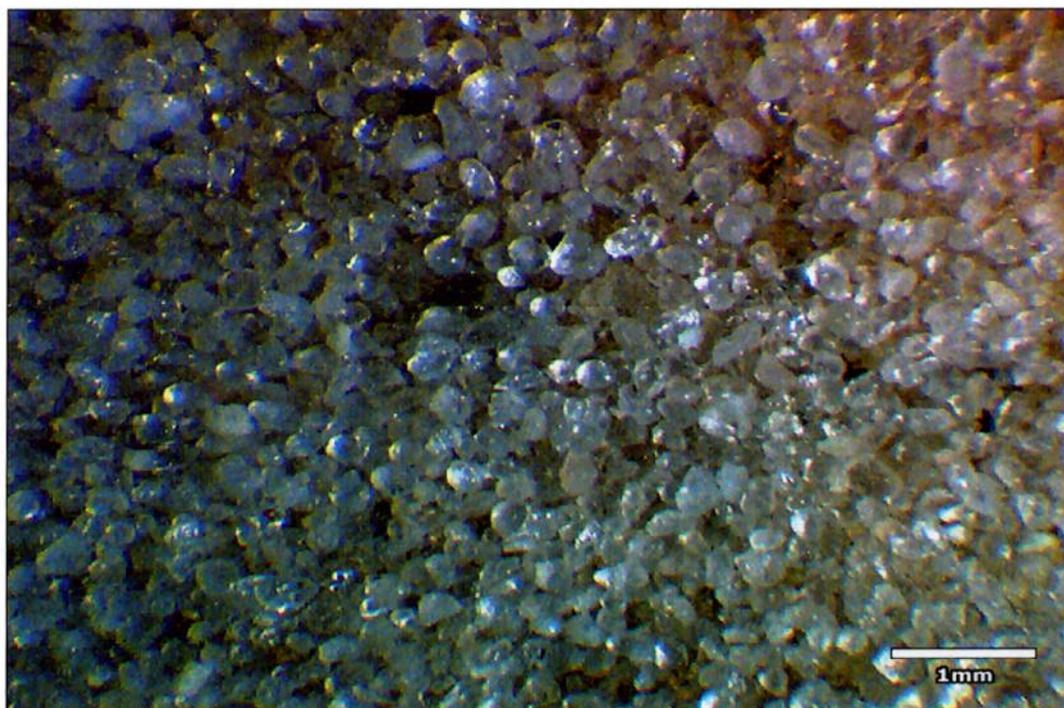


Foto 12 - Material passante na peneira mesh #100 (0,15 mm). Notar predominância de grãos de quartzo.

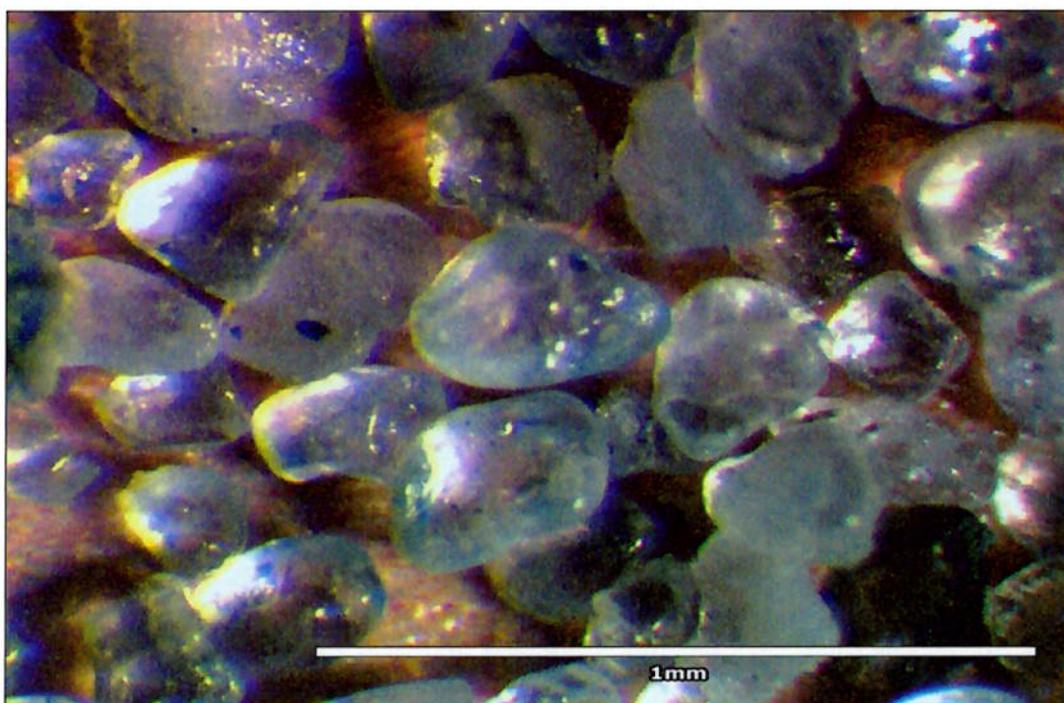


Foto 13 - Material passante na peneira mesh #100 (0,15 mm). Detalhe da forma dos grãos, predominantemente esféricos a alongados.

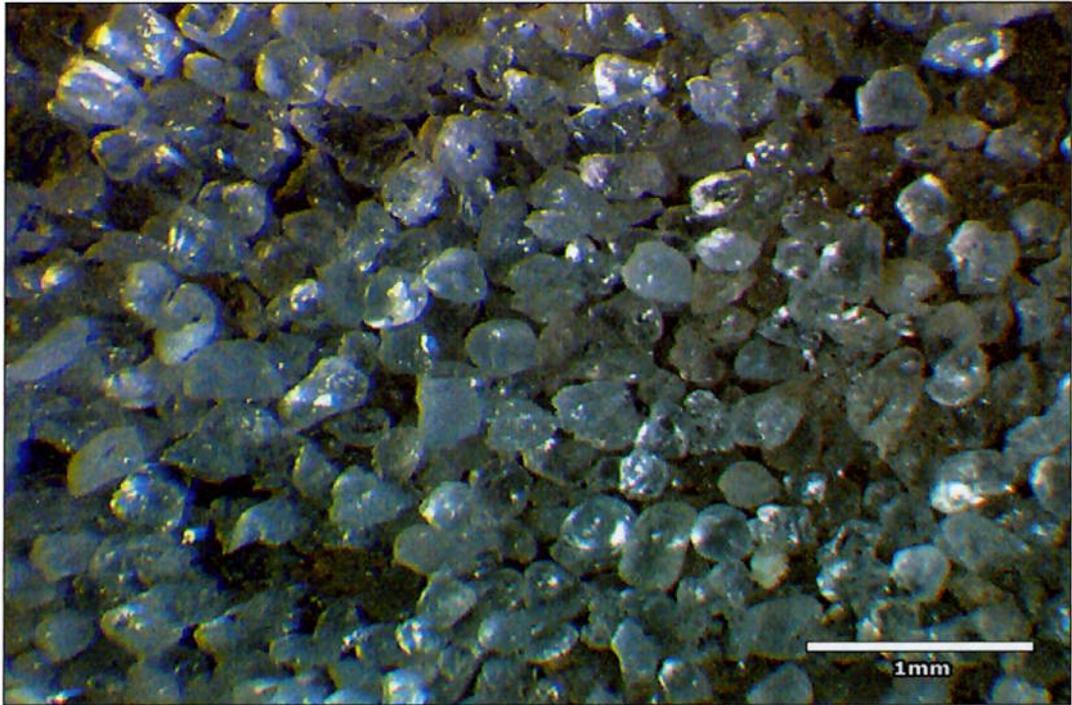


Foto 14 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #100 (0,15 mm) e #48 (0,3 mm). Notar predominância de grãos de quartzo esféricos.

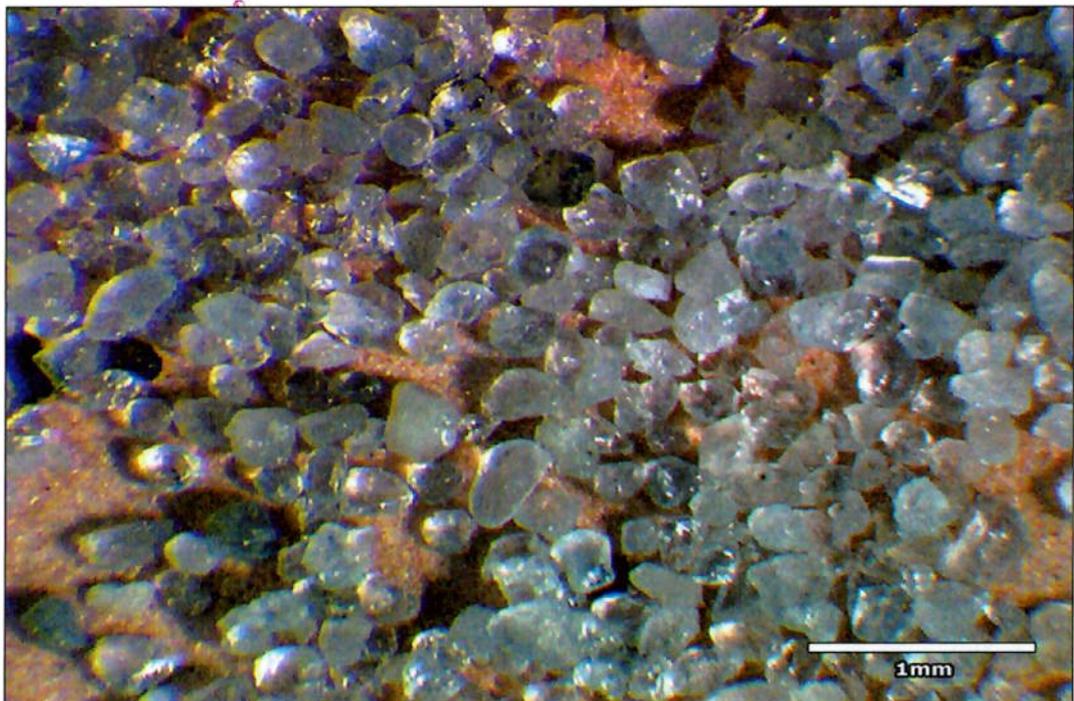


Foto 15 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #100 (0,15 mm) e #48 (0,3 mm).



Foto 16 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #48 (0,3 mm) e #28 (0,6 mm). Notar presença de grãos de quartzo angulosos e arredondados. Notar textura superficial áspera e forma angulosa de alguns grãos de feldspato.
(Qz = quartzo, F = feldspato)

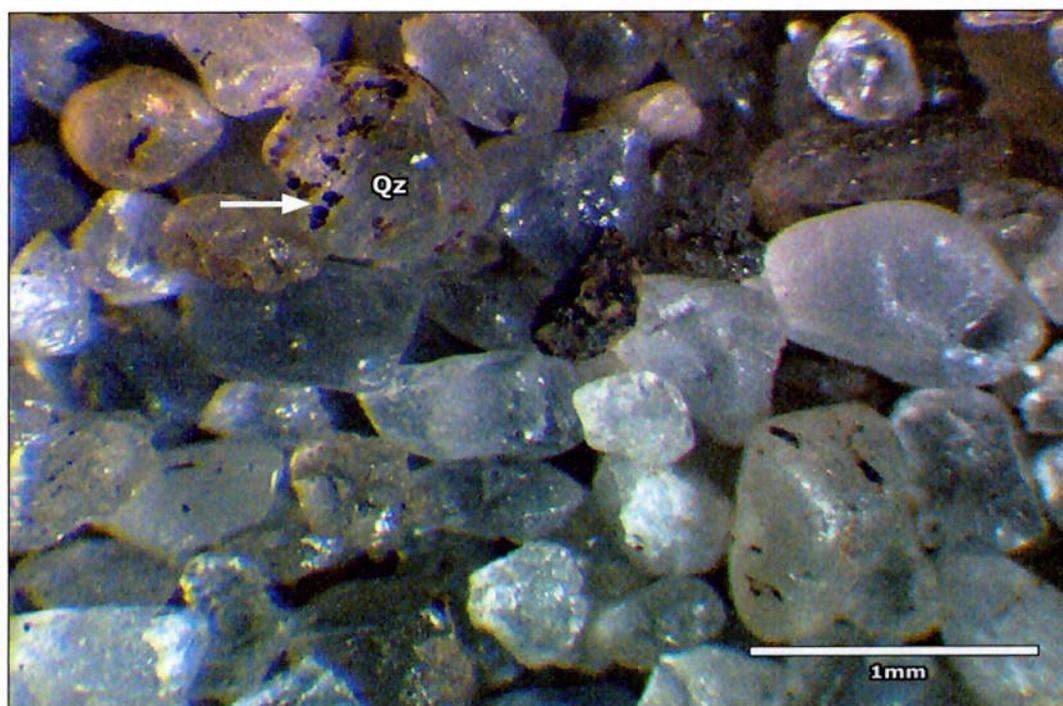


Foto 17 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #48 (0,3 mm) e #28 (0,6 mm). Notar que alguns grãos apresentam cavidades superficiais preenchidas com material fino (indicado com seta)
(Qz = quartzo)

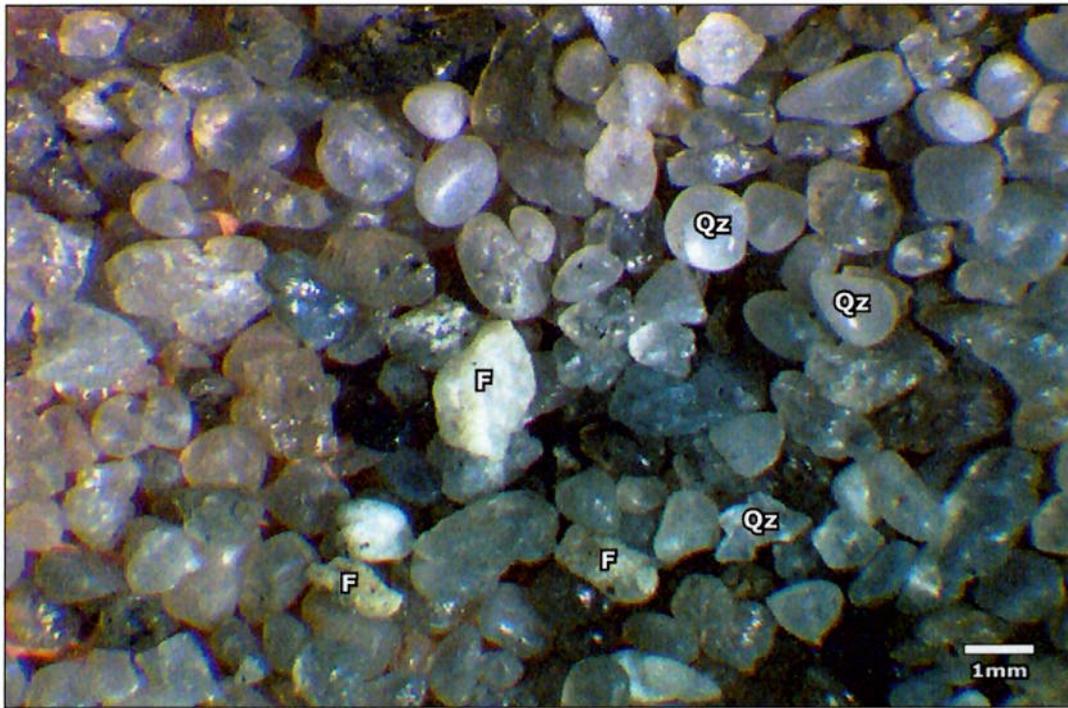


Foto 18 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #28 (0,6 mm) e #14 (1,2 mm). Notar diferentes formas e arredondamento dos grãos.

(Qz = quartzo, F = feldspato)



Foto 19 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #28 (0,6 mm) e #14 (1,2 mm). Comparação entre dois grãos de quartzo com arredondamento e textura superficial distintas.

(Qz = quartzo, F = feldspato)



Foto 20 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #14 (1,2 mm) e #8 (2,4 mm). Notar heterogeneidade de formas dos grãos e texturas superficiais.

(Qz = quartzo, F = feldspato)



Foto 21 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #14 (1,2 mm) e #8 (2,4 mm). Notar diferentes formas e texturas superficiais do quartzo e textura superficial porosa do feldspato.

(Qz = quartzo, F = feldspato)

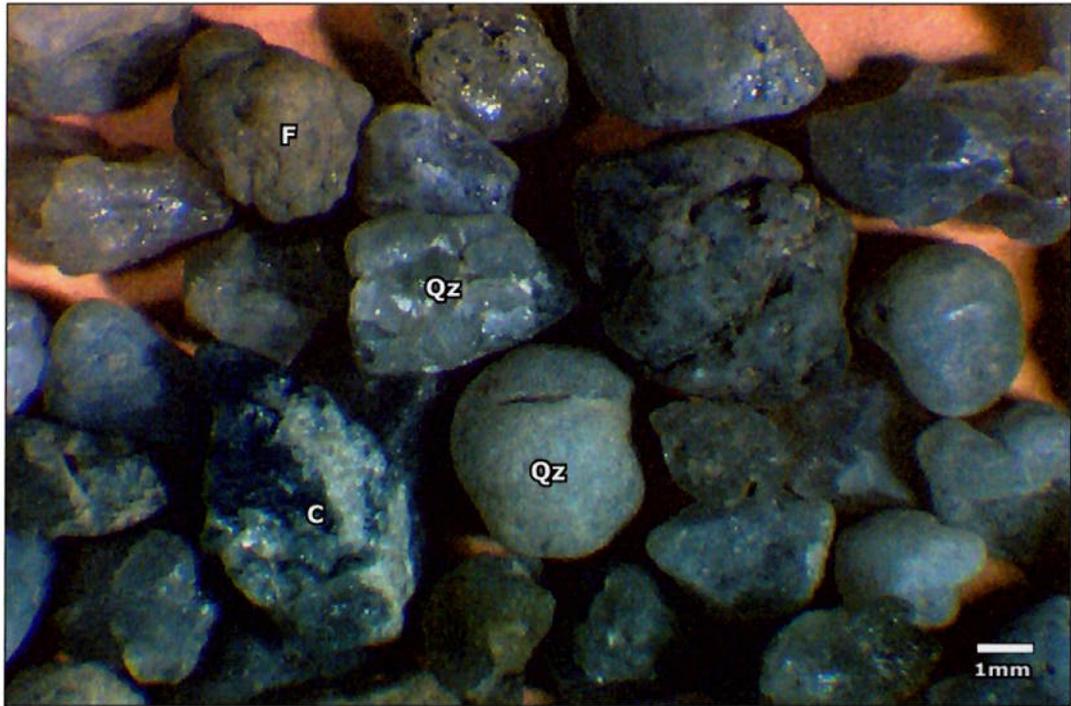


Foto 22 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #8 (2,4 mm) e #4 (4,8 mm). Notar que alguns grãos de quartzo bastante arredondados apresentam textura superficial áspera.

(Qz = quartzo, F = feldspato, C = Carbonato)



Foto 23 - Faixa granulométrica entre as malhas mesh #8 (2,4 mm) e #4 (4,8 mm). Notar grão com cavidade preenchida com material fino.

Como sugerido com respeito ao arredondamento das partículas, a heterogeneidade de texturas pode originar-se da mistura do material de diversas camadas durante o processo de dragagem do material.

7.3.4. Massa específica

Petrucci (1971) distingue duas espécies de massa específica: massa específica real e massa específica aparente.

A massa específica real dos grãos é a massa da unidade de volume, excluindo deste os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos. A massa específica aparente é o peso da unidade de volume, incluindo neste os vazios, permeáveis ou impermeáveis contidos nos grãos, ou seja, a relação entre a massa do agregado e o volume igual do sólido, incluindo os poros.

A massa específica é uma grandeza que está intimamente relacionada com a composição mineralógica do agregado, uma vez que não leva em conta o formato dos grãos e os vazios entre eles.

Para fins de determinação de dosagens de concreto, é desejável que se conheça a massa específica aparente, de acordo com a norma NBR 9776 (ABNT, 1987e), por meio do frasco Chapman (Foto 24).



Foto 24 - Determinação da massa específica.

O método de ensaio consiste em preencher um recipiente especial (frasco Chapman) com água até a marca de 200 cm³, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorram totalmente; em seguida, coloca-se 500 g de agregado miúdo seco no frasco, agitando o mesmo para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo. O cálculo da massa específica é feito pela seguinte fórmula:

$$\gamma = 500 / (L - 200) \quad (2)$$

onde,

γ = massa específica (g/cm³)

L = leitura do frasco (cm³)

De acordo com a norma, devem ser executadas, para cada amostra, duas determinações consecutivas, que não devem diferir entre si de mais de 0,05 g/cm³.

As três amostras coletadas apresentaram massas específicas idênticas (2,64 g/cm³). Este resultado reflete a composição mineralógica constituída predominantemente de grãos de quartzo e feldspato, cujas massas específicas são de 2,65 g/cm³ para o quartzo e entre 2,57 e 2,76 g/cm³ para o grupo dos feldspatos.

7.3.5. Massa unitária

Massa unitária, como definido em Metha (1986), é a massa de uma certa quantidade de agregado que preenche um volume unitário, ou, de acordo com a norma NM 45 (CMN, 1995b), o quociente da massa do agregado lançado no recipiente e o seu volume correspondente. O conhecimento desta grandeza é importante uma vez que não é possível arrumar os grãos de modo que não existam vazios entre elas (Neville, 1997).

De acordo com Prentice (1990), areias secas naturais tem, comumente, massas unitárias entre 1400 e 1800 kg/m³, representando porcentagem de vazios entre 32 e 47%. Para Metha (1986), a massa unitária aproximada de agregados utilizados em concretos comuns varia entre 1300 e 1750 kg/m³.

Mesmo podendo se fazer uma correlação entre a massa unitária de uma areia e a resistência de um concreto ou argamassa preparados com esta areia, existem suficientes discrepâncias nesta correlação que mostram que outros parâmetros como forma dos grãos, são igualmente determinantes na resistência (Prentice *op. cit.*).

A determinação da massa unitária das areias estudadas foi executada de acordo com a norma NM 45 (CMN, 1995b), que prescreve o método para a determinação deste parâmetro dos agregados em estado solto (Foto 25).



Foto 25 - Determinação da massa unitária.

Conforme Ferreira (1985), a massa unitária do agregado vai depender do grau de arrumação dos seus grãos por ocasião da realização do ensaio. A distribuição das dimensões como também a forma e a textura superficial dos seus grãos pode conduzir a resultados variados, caso não sejam tomados os devidos cuidados recomendados na norma.

A execução do ensaio consiste em preencher o recipiente por meio de uma concha ou pá, sendo o agregado lançado de uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente (após o preenchimento, o recipiente é rasado com uma régua). Em seguida, o recipiente é pesado com o material nele contido. A massa do agregado solto é a diferença entre a massa do recipiente cheio e a massa do recipiente vazio.

Para estes ensaios, utilizou-se um recipiente de volume $14,55 \text{ dm}^3$ e tara $6,280 \text{ kg}$. Os resultados obtidos a partir de três determinações não apresentaram desvios maiores que 1% em relação à média (de acordo com a exigência da norma). A massa unitária é dada em kg/dm^3 , com aproximação de $0,01 \text{ kg/dm}^3$ e os resultados dos ensaios podem ser visualizados na tabela 10.

Tabela 10 - Massa unitária.

Amostra	Massa unitária (kg/dm ³)
SUB-001	1,678
SUB-002	1,500
SUB-003	1,655

7.4. ÍNDICES DE QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO

Dependendo das características do agregado miúdo, e até mesmo do tipo de jazida onde é realizada a lavra, podem ocorrer substâncias nocivas ou deletérias que comprometem a qualidade do concreto. Fragmentos vegetais, carbonizados ou não, são freqüentemente encontrados em leitos de rios e depósitos de planície fluvial. Torrões de argila são encontrados mais freqüentemente em depósitos de manto de alteração e planície fluvial. Em depósitos de manto de alteração de rocha são comuns partículas friáveis e materiais pulverulentos.

Os índices de qualidade determinados neste trabalho foram: absorção de água, impurezas orgânicas, argila em torrões e materiais pulverulentos e partículas mecanicamente frágeis.

Outros índices de qualidade, como sais solúveis, sulfatos e cloretos não foram avaliados neste estudo, pois laudos de ensaios previamente executados pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) indicaram teores muito abaixo dos prescritos nas normas em vigor.

7.4.1. Absorção de água

Há vários estados de absorção de umidade em que um grão de agregado pode existir. Quando todos os poros permeáveis estão cheios e não há um filme de água na superfície, é dito que o agregado está “saturado - superfície seca” (SSS); quando o agregado está saturado e também há umidade livre na superfície, o agregado está “saturado”; o agregado “seco em estufa” é considerado aquele do qual toda a água evaporável foi removida por aquecimento a 100° C; o agregado “seco no ar” está em uma condição intermediária entre o “seco em estufa” e o SSS (Petrucci, 1971; Ferreira, 1985; Metha, 1986).

Metha (*op. cit.*) define como capacidade de absorção de água a quantidade total de água necessária para levar um agregado “seco em estufa” à condição SSS. Absorção efetiva

é definida como a quantidade de água necessária para levar um agregado “seco no ar” à condição SSS. Por ser mais facilmente quantificada, foi definido, no presente estudo, apenas a capacidade de absorção de água, ou seja, partindo de um agregado seco em estufa.

A norma que especifica os padrões de absorção de água dos agregados miúdos é NM 30 (CMN, 2001a). Esta norma define como absorção o processo pelo qual um líquido é conduzido e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso, e para efeitos da norma, é também o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação a sua massa em estado seco.

A capacidade de absorção de água é um indicador da qualidade do agregado no que se refere ao seu grau de alteração intempérica. Conforme Sbrighi Neto (2000), o aumento da alteração intempérica da rocha quase sempre é associado à diminuição do índice de suas propriedades mecânicas e ao aumento da capacidade de absorção de água.

De acordo com Ferreira (1985), a capacidade de absorção de água do agregado é diretamente dependente do número de poros existentes, ou seja, da porosidade superficial dos grãos do agregado.

O método de ensaio consiste no seguinte procedimento:

- separar uma alíquota de amostra e secá-la em estufa a 105° C, até que a diferença de massa seja menor do que 0,1 g, em duas determinações consecutivas, cobrir a amostra com água e deixar descansar por 24 h;
- retirar a amostra da água e estender sobre uma superfície plana, submetendo-a a ação de uma suave corrente de ar quente, revolvendo a amostra com frequência para assegurar uma secagem uniforme;
- para testar a existência de umidade superficial, coloca-se o agregado miúdo em um molde tronco-cônico metálico, sem comprimí-lo, aplica-se suavemente em sua superfície 25 golpes com a haste de compactação e levanta-se verticalmente o molde. Se houver umidade superficial, o agregado permanecerá com a forma do molde, neste caso, deve-se continuar a secagem até que o cone de agregado miúdo desmorone ao se retirar o molde. Neste momento, o agregado terá chegado à condição SSS; e
- determinar a massa com aproximação de 0,1 g.

A absorção de água é calculada a partir da seguinte expressão:

$$A = (m_s - m) / m * 100 \quad (3)$$

Onde,

A = Absorção de água, em porcentagem

m_s = massa da amostra no estado SSS

m = massa da amostra seca em estufa

A norma NM 30 (CMN 2001a) determina que os resultados dos ensaios realizados com a mesma amostra não devem diferir em mais de 0,05% para a porcentagem da absorção. Os resultados obtidos a partir destes ensaios podem ser visualizados na tabela 11.

Tabela 11 - Capacidade de absorção de água.

Amostra	Absorção (%)
SUB-001	0,20
SUB-002	0,95
SUB-003	1,05

Conhecida a natureza do mineral quartzo, altamente resistente à alteração intempérica, e a composição essencialmente quartzosa das areias de Subaúma, é justificável que a absorção de água das areias estudadas seja consideravelmente reduzida.

7.4.2. Impurezas orgânicas

A matéria orgânica encontrada em agregados consiste geralmente de produtos de decomposição de matéria vegetal (principalmente ácido tânico e derivados) e aparece na forma de húmus e argila orgânica. Outras impurezas orgânicas comumente presentes nos agregados são: óleo combustível, açúcares, carvão, linhito e fragmentos vegetais.

As impurezas orgânicas exercem uma ação prejudicial sobre a pega e o endurecimento das argamassas e concretos, quando presentes em quantidades significativas. Uma parte de húmus, que é ácida, neutraliza a água alcalina da argamassa e a parte restante envolve os grãos de areia, formando uma película sobre eles, impedindo, desta forma, uma perfeita aderência entre o cimento e os grãos de agregado. Por estas razões, as argamassas e concretos preparados com areias que contenham uma proporção elevada de matéria orgânica têm baixa resistência (Petrucci, 1971).

De acordo com Neville (1997), os agregados podem ser suficientemente resistentes ao desgaste e ainda assim não serem satisfatórios para uso em concretos se contiverem impurezas orgânicas que possam interferir com as reações químicas da hidratação.

No caso de fragmentos vegetais, a norma que especifica o procedimento para identificação desses materiais nos agregados é a NM 54 (CMN, 1996), o que é feito de forma visual.

É importante ressaltar que em alguns casos, a matéria orgânica pode ter um efeito temporário, prejudicando a resistência do concreto, apenas nas idades mais jovens. Neville (*op. cit.*) cita uma investigação em que um concreto executado com areia contendo matéria orgânica apresentou uma resistência, após 24 horas, de apenas 53% da resistência de um concreto executado com areia limpa. Aos 3 dias de idade, essa relação chegou perto dos 82%, aos 7 dias, 92% e aos 28 dias as resistências eram iguais.

Os ensaios de determinação do teor de impurezas orgânicas nas amostras coletadas foram executados conforme a norma NM 49 (CMN, 2001b).

O método de ensaio consiste na comparação colorimétrica de uma solução obtida com a lavagem de uma porção do agregado com hidróxido de sódio a 3% e água, com uma solução padrão constituída de ácido tânico a 2%, álcool e água. Para um agregado livre de matéria orgânica ou com teores aceitáveis, a coloração da solução não deve ser mais escura que a solução padrão.

O teor de matéria orgânica da solução padrão é de 300 ppm, ou seja, pode-se dizer que o limite de impurezas orgânicas presentes no agregado avaliado deve ser, em teor, igual ou inferior a 300 ppm. Não há, porém, uma restrição explícita na norma quanto a utilização de areias que apresentem teores maiores que este. Segundo Suensen (s.d. *apud* Petrucci, 1971), uma proporção em peso de 1% de ácidos de húmus podem tornar as areias inutilizáveis.

A matéria orgânica presente no agregado miúdo nem sempre é prejudicial e, constatada a sua presença excessiva, é importante a execução de ensaios de resistência em corpos de prova conforme a norma NBR 7221 (ABNT, 1987d) de modo a conhecer seu efeito no concreto.

As três amostras de areia submetidas aos ensaios apresentaram teores excessivos de impurezas orgânicas, como pode ser visualizado na foto 26. A análise visual das amostras, porém, não indicou a presença de fragmentos vegetais ou carbonosos em quantidade

significativa. Dessa forma, conclui-se que a matéria orgânica encontra-se em frações mais finas, ou impregnadas nos grãos, na forma de finas películas ou preenchendo cavidades superficiais.

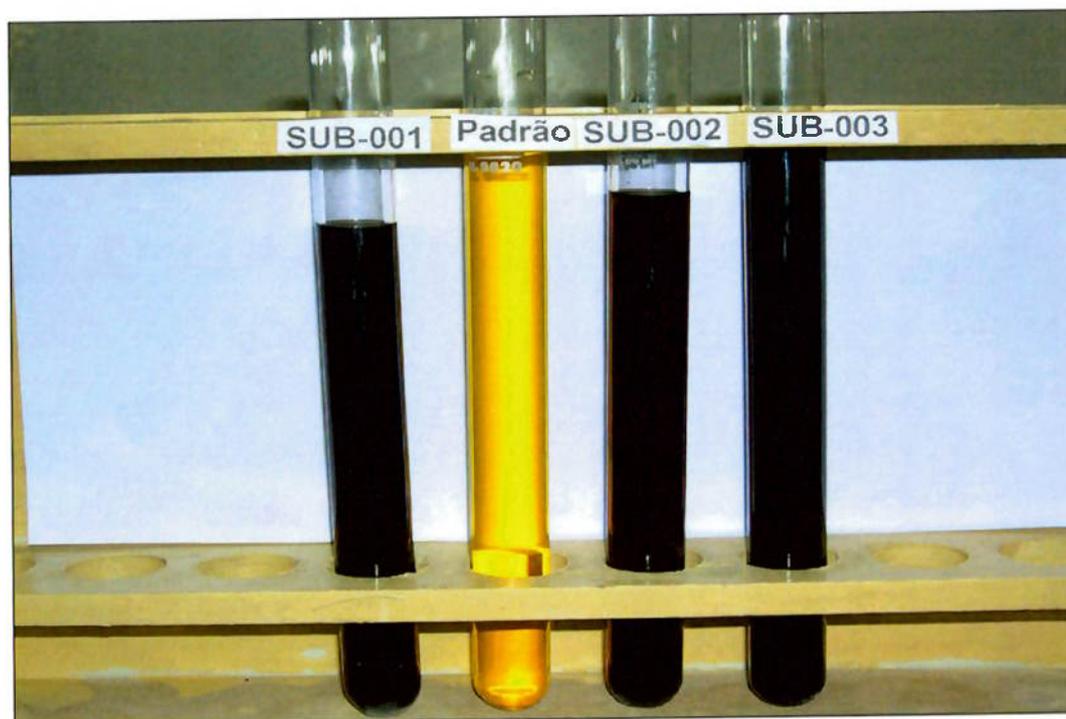


Foto 26 - Resultado do ensaio de determinação de impurezas orgânicas.

Constatada a presença de matéria orgânica nas amostras, os ensaios de comparação do índice colorimétrico foram conduzidos de forma a estimar quantitativamente o teor destas impurezas.

Petrucci (1971) propõe um ensaio de determinação do teor de impurezas orgânicas a partir da preparação de diversas soluções padrões, com quantidades conhecidas de ácido tânico, de forma que se tenha uma escala colorimétrica para comparação visual.

Neste estudo, as soluções preparadas a partir das areias analisadas foram desdobradas, adicionando-se água destilada, até se atingir a coloração da solução padrão (cuja quantidade determinada de ácido tânico é de 300 ppm). Os teores de matéria orgânica (em ppm) obtidos encontram-se na tabela 12.

As impurezas orgânicas encontradas nas areias analisadas têm origem provável na camada marrom a negra (foto 1), que no processo de extração se mistura às outras camadas, contaminando a jazida.

Tabela 12 – Teores de matéria orgânica.

Amostra	Teor de matéria orgânica (ppm)
SUB-001	12.800
SUB-002	6.400
SUB-003	12.800

Petrucci (1971) salienta que a simples lavagem da areia contaminada com matéria orgânica com água não é eficiente, porque os ácidos do húmus são dificilmente solúveis e aderem fortemente aos grãos. Sugere-se uma lavagem com uma solução de cal, que neutraliza a acidez, ou substituição de 5% de cimento por igual proporção em peso de cal. Petrucci (*op. cit.*) sugere, também, conforme estudos desenvolvidos pela Escola Técnica Superior da Noruega, que a qualidade da areia pode ser melhorada quando colocada em lugar seco e exposta ao ar livre, pois, desta forma, neutraliza-se a acidez. Segundo Petrucci (*op. cit.*), 6 meses nestas condições diminuem a proporção de ácidos orgânicos de 0,78% para 0,34%.

7.4.3. Argila em torrões e materiais pulverulentos

De acordo com Frazão (2002), são definidas como partículas finas ou materiais pulverulentos aquelas cuja dimensão é menor que 0,075 mm, abaixo da qual estão o silte (0,002 a 0,074 mm) e a argila (menor que 0,002 mm). Estes materiais podem ocorrer na forma de película superficial revestindo os grãos de areia, como torrões ou dispersos no agregado. A norma NM 46 (CMN, 1995c) define materiais pulverulentos como as partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

Nem sempre a presença destes materiais é prejudicial ao concreto, e algumas vezes pode até ter uma função benéfica ao corrigir a granulometria do agregado miúdo ou do cimento (Frazão, *op. cit.*).

De acordo com Prentice (1990), o efeito prejudicial da argila nos concretos e argamassas é que, por ser a argila um elemento fraco, ao ser introduzida na mistura reduz a resistência do produto final. A presença de argila em excesso no agregado miúdo prejudica, também, a aderência da pasta de cimento na superfície do agregado, pela formação de uma camada fina em torno dos grãos, impedindo a cristalização regular e homogênea dos compostos do cimento, comprometendo a durabilidade e resistência do concreto.

Devido à grande área superficial das argilas, o consumo de água necessária para molhar todas as partículas na mistura (água de amassamento) aumenta consideravelmente. A norma NBR 7211 (ABNT, 1983) sugere um limite (em porcentagem do peso) de 3% de materiais pulverulentos para um agregado miúdo em concretos submetidos ao desgaste superficial e de 5% nos demais concretos. Quanto à argila em torrões, a norma estabelece limites de 1% em concretos cuja aparência é importante, 2% em concretos submetidos a desgaste superficial e 3% nos demais concretos.

A norma que especifica os padrões aceitáveis do teor de materiais pulverulentos nos agregados e prescreve o método de ensaio é a NM 46 (CMN, 1995c). O ensaio de determinação do teor de materiais pulverulentos é bastante simples e consistiu basicamente em:

- separar uma alíquota de amostra e secá-la em estufa a 105° C por um período de 24 horas;
- determinar sua massa seca em balança de precisão (5 g);
- colocar a amostra em um recipiente e recobrir com água. Agitar o material com auxílio de uma haste, de modo a provocar a separação e suspensão das partículas finas;
- despejar a água cuidadosamente através da peneira com malha de abertura 0,075 mm;
- lançar o material retido na peneira de volta ao recipiente e repetir a operação de lavagem até que a água de lavagem se torne límpida;
- ao terminar a lavagem, o material é colocado no recipiente, recoberto com água e mantido em repouso o tempo necessário para decantar as partículas. Em seguida, a água em excesso deve ser retirada com auxílio de bisnaga para facilitar a posterior secagem em estufa;
- o agregado lavado é seco novamente em estufa à 105° C por 24 horas;
- por fim, determina-se a massa da amostra final.

O teor de materiais pulverulentos (que passam pela peneira 0,075 mm) é calculado a partir da seguinte expressão:

$$T_{mp} = (m_i - m_f) / m_i * 100 \quad (4)$$

Onde,

T_{mp} = teor de materiais pulverulentos

m_i = massa inicial

m_f = massa final

A norma determina que este ensaio seja repetido uma vez e o resultado é obtido pela média aritmética das duas determinações, que não podem diferir em mais que 1,0%. Os resultados podem ser visualizados na tabela 13.

Tabela 13 - Teor de materiais pulverulentos.

Amostra	Teor de materiais pulverulentos (%)
SUB-001	0,20
SUB-002	0,30
SUB-003	0,22

A norma NM 44 (CMN, 1995a) especifica o procedimento técnico para realização dos ensaios de determinação do teor de argila em torrões em agregados destinados ao preparo de concreto.

A massa mínima exigida pela norma para a execução deste ensaio em agregado miúdo é de 0,2 Kg. O ensaio consistiu basicamente em:

- Determinar a massa inicial da amostra (apenas a fração retida entre as peneiras 1,2mm e 4,8mm);
- Espalhar a amostra em uma bandeja de maneira a formar uma camada fina;
- Identificar as partículas com aparência de torrões de argila ou materiais friáveis e pressioná-las entre os dedos, de modo a desfazê-las (foto 27);
- Repeneirar a amostra através da peneira com malha 0,6mm;
- Determinar a massa da amostra final.

O teor de argila em torrões é calculado pela mesma expressão que o teor de materiais pulverulentos:

$$T_{at} = (m_i - m_f) / m_i * 100 \quad (5)$$

Onde,

T_{at} = teor de argila em torrões

m_i = massa inicial

m_f = massa final



Foto 27 - Ensaio de determinação do teor de argila em torrões.

Os teores de argila em torrões das amostras podem ser visualizados na tabela 14.

Tabela 14 - Teor de argila em torrões.

Amostra	Teor de argila (%)
SUB-001	0,30
SUB-002	-
SUB-003	0,20

É importante notar que na amostra SUB-002 não puderam ser identificadas partículas friáveis ou com aparência de torrões de argila, devido a quantidade insuficiente de material retido entre as peneiras 1,2 mm e 4,8 mm para determinação deste parâmetro.

7.4.4. Partículas mecanicamente frágeis

Há dois tipos de partículas não sãs: aquelas que não conseguem manter a integridade, ou friáveis, e aquelas que resultam em expansão e desagregação quando expostas ao congelamento ou mesmo à água (Neville, 1997).

Alguns materiais que prejudicam a durabilidade do concreto, quando em quantidades excessivas são: xistos, carvão, mica, gesso e outros sulfatos, piritas e marcassitas.

As partículas mecanicamente frágeis (macias e friáveis), por apresentarem baixa resistência, modificam as propriedades físicas do concreto e também afetam a sua integridade. Além da baixa resistência, têm, muitas vezes forma achatada e baixa densidade. Os efeitos indesejáveis destas partículas no concreto são: aparecimento de buracos, redução da tensão de ruptura na compressão e diminuição da resistência ao intemperismo e ao desgaste (Frazão, 2002).

A norma NM 44 (CMN, 1995a) prescreve o método de ensaio para determinação do teor de materiais friáveis, e os limites máximos estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 1983) são os mesmos para a argila em torrões.

A análise mineralógica das areias de Subaúma indica a predominância de quartzo e feldspato em todas as frações (os outros minerais ocorrem como acessórios). Estes minerais encontram-se pouco ou nada alterados, e não possuem outras características que os tornem mecanicamente frágeis.

O único mineral identificado potencialmente prejudicial a durabilidade do concreto é a mica, presente nas frações mais finas. Entretanto, a quantidade deste mineral no agregado é desprezível.

8. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AGREGADO NO CONCRETO

8.1. INTRODUÇÃO

A avaliação do desempenho das areias de Subaúma como agregado miúdo para concreto, neste trabalho, foi embasada na norma NBR 7221 (ABNT, 1987d), que prescreve o método para determinação da qualidade de um agregado miúdo, considerado suspeito do ponto de vista de impurezas orgânicas, por ensaio comparativo de resistência à compressão de argamassas, preparadas com o agregado nas condições de lavado e no estado original.

O ensaio proposto pela NBR 7221 (ABNT, *op. cit.*) é aplicável aos agregados miúdos que, ensaiados conforme a norma NM 49 (CMN, 2001b), produzem uma solução de coloração mais escura que a da solução padrão, como ocorreu nas amostras estudadas. Esse ensaio é comparativo e executado com uma porção da amostra lavada com uma solução de hidróxido de sódio a 3% e outra porção no seu estado original.

A resistência de um material é definida como a habilidade de suportar um esforço aplicado. A resistência à compressão uniaxial é um parâmetro universalmente aceito como indicativo da qualidade de um determinado concreto, por ser facilmente determinado. A resistência de um concreto depende de diversos fatores, e é reflexo direto da qualidade do agregado.

Helene & Terzian (1992) afirmam que a propriedade do concreto que melhor o qualifica é a resistência à compressão, desde que na sua dosagem e preparação, tenham sido levados em conta, também, os aspectos de trabalhabilidade e durabilidade, optando-se por determinada curva granulométrica, tipo e classe de cimento e relação água/cimento.

8.2. MÉTODO DE ENSAIO

O método de ensaio da norma NBR 7221 (ABNT, *op. cit.*) consiste inicialmente, na separação de duas porções de cada amostra. Uma das porções deve ser imersa em solução de hidróxido de sódio a 3% e lavada com água e a outra deve ser mantida no seu estado original. O tempo de imersão e o número de lavagens com água da porção da amostra devem ser suficientes para que a porção lavada apresente solução de coloração mais clara que a solução padrão, conforme a norma NM 49 (CMN, *op. cit.*).

Utilizando o procedimento mecânico exigido na norma, foram preparadas, no mesmo dia, quatro misturas de argamassa. Duas com a areia lavada e duas com a areia no seu estado original. Para cada mistura foram moldados 6 corpos-de-prova (Foto 28), 3 para a idade de 7 dias e 3 para 28 dias).



Foto 28 - Moldagem dos corpos de prova de argamassa.

A determinação do traço adotado no preparo das argamassas fundamentou-se numa relação água/cimento constante igual a 0,6, em massa, conforme as especificações da norma. A quantidade de areia foi dosada para produzir um índice de consistência de 225 mm \pm 5 mm, medido conforme a norma NBR 7215 (ABNT, 1996). Como aglomerante, foi utilizado o cimento CP-II-E-32, amplamente aceito no mercado. Os dados dos traços utilizados no preparo das argamassas estão ilustrados na tabela 15.

Tabela 15 – Traços adotados no preparo das argamassas.

Amostra	Condição	Cimento (Kg)	Agregado (Kg)	Água (Kg)	Consistência (mm)
SUB-001	Natural	0,500	2,400	0,300	225
	Lavada	0,476	2,260	0,286	220
SUB-002	Natural	0,600	1,950	0,360	225
	Lavada	0,650	2,032	0,390	220
SUB-003	Natural	0,500	2,200	0,300	220
	Lavada	0,500	2,075	0,300	220

Conforme exigido pela norma NBR 7221 (ABNT, 1987d), a cura inicial (ao ar), o preparo dos topos e a cura final em água foram executadas conforme a norma NBR 7215 (ABNT, 1996). Os corpos-de-prova foram, então, rompidos à compressão às idades de 7 e 28 dias, com tolerâncias de 2 horas (para 7 dias) e 4 horas (para 28 dias). A idade de cada corpo de prova foi contada a partir do instante em que o cimento foi posto em contato com a água de mistura. Os resultados obtidos podem ser visualizados nas tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Determinação da resistência à compressão aos 7 dias.

Amostra	Condição	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo máximo (%)	Relação A/B (%)
SUB-001	Natural (A)	11,0	0,9	90
	Lavada (B)	12,2	2,4	
SUB-002	Natural (A)	10,4	1,9	79
	Lavada (B)	13,2	1,5	
SUB-003	Natural (A)	9,4	2,1	82
	Lavada (B)	11,4	1,7	

Tabela 17 - Determinação da resistência à compressão aos 28 dias.

Amostra	Condição	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo máximo (%)	Relação A/B (%)
SUB-001	Natural (A)	20,8	1,0	100
	Lavada (B)	20,7	1,4	
SUB-002	Natural (A)	18,2	1,1	96
	Lavada (B)	18,9	2,6	
SUB-003	Natural (A)	17,2	1,7	82
	Lavada (B)	20,8	1,4	

Como pode ser visualizado nos gráficos de resistência das figuras 20, 21 e 22, a presença de impurezas orgânicas prejudica a resistência das argamassas preparadas com todas as amostras. Nas amostras SUB-001 e SUB-002, o efeito prejudicial é apenas temporário. Aos 28 dias este efeito praticamente não é mais observado, e as resistências das argamassas preparadas com areia no estado original aproximam-se de 100% das resistências das argamassas preparadas com areia lavada. A amostra SUB-003 comporta-se de maneira diferente, e mesmo após os 28 dias de cura, a presença de impurezas orgânicas continua interferindo significativamente na resistência da argamassa.

Para fins de comparação entre as amostras, é interessante notar que a amostra SUB-002 (lavada) apresenta resistência mais elevada em idades mais jovens que as amostras SUB-001 e SUB-003, porém, após 28 dias, sua resistência é superada pelas mesmas.

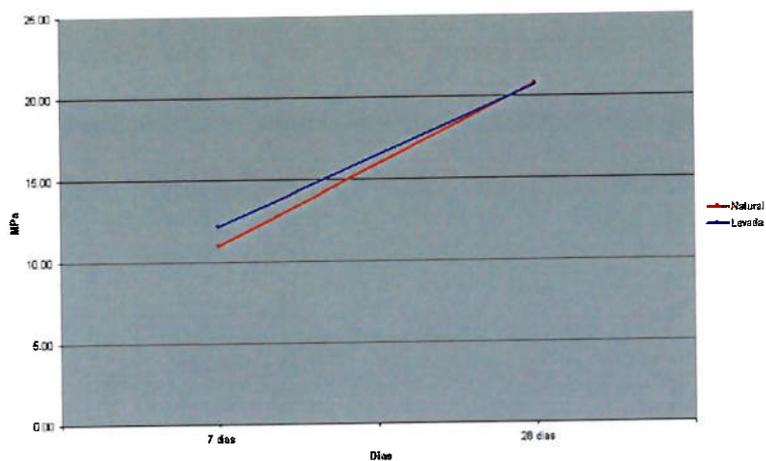


Figura 20 - Evolução da resistência à compressão uniaxial da amostra SUB-001.

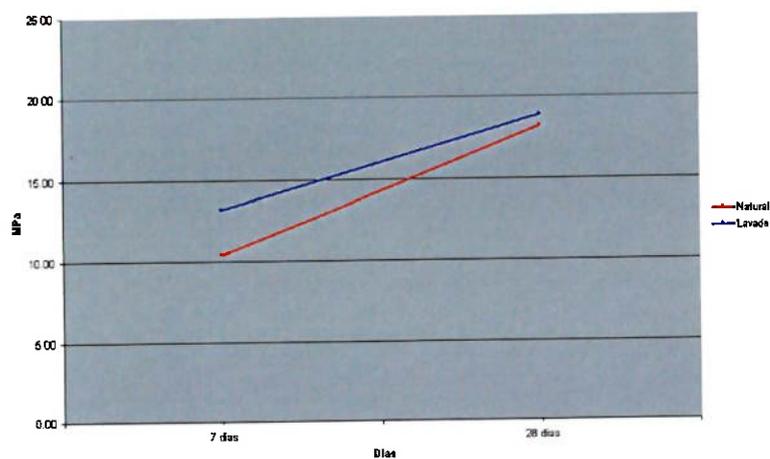


Figura 21 - Evolução da resistência à compressão uniaxial da amostra SUB-002.

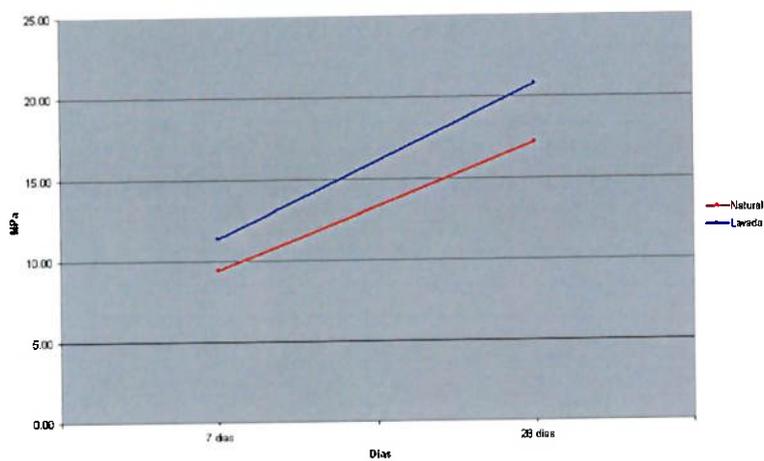


Figura 22 - Evolução da resistência à compressão uniaxial da amostra SUB-003.

O estudo das características tecnológicas indicou que as três amostras apresentam parâmetros semelhantes, diferindo apenas em sua composição granulométrica. Assim sendo, deduz-se que os índices relacionados com esta característica (coeficiente de uniformidade e módulo de finura) influem diretamente na resistência do concreto, e, apesar de haver uma diferença de resistência entre as amostras, esta não é significativa a ponto de comprometer o uso destas areias como agregado para concreto.

9. CONCLUSÕES

A jazida da Mineração Corrêa é resultante de uma seqüência transgressivo-regressiva ocorrida no Quaternário, tendo sua gênese na interação de processos marinhos, resultantes de transporte e retrabalhamento em ambiente de transição continental-marinho.

Considerando os objetivos propostos e os dados obtidos, pode-se concluir que a areia produzida possui características tecnológicas adequadas ao aproveitamento como agregado miúdo para concreto.

Apesar do estudo não ter sido conduzido visando avaliar o consumo de cimento, nem a comparação do desempenho com concretos preparados com areias de diferentes origens, os parâmetros avaliados são indicativos de um agregado de ótima qualidade que pode resultar em melhorias reais na qualidade do concretos que tenham em sua dosagem a areia de Subaúma como agregado miúdo.

A avaliação dos volumes de areia a partir dos dados de sondagem permitiram definir volumes *in situ* que tornam o empreendimento bastante atrativo, do ponto de vista econômico, considerando apenas as reservas minerais, a produção e vida útil estimada, e a qualidade do agregado produzido.

Dos índices de qualidade determinados nas areias, o excesso de impurezas orgânicas é a única característica que pode comprometer seu desempenho nos concretos. Apesar de identificada quantidade excessiva de impurezas orgânicas em todas as amostras analisadas (três), em duas delas o efeito prejudicial (comprometimento da pega resultando na diminuição da resistência) foi apenas temporário. Em uma das amostras, porém, este efeito perdurou até, pelo menos, os 28 dias de cura.

A presença de impurezas orgânicas é, provavelmente, resultante da contaminação ocorrida pelo próprio método de lavra, que promoveu o revolvimento de uma delgada camada arenosa (camada escura impregnada com matéria orgânica) do topo da seqüência do depósito.

Como as operações de lavra pelo método de cava submersa foram iniciadas há pouco tempo, esta contaminação tende a ser minimizada durante a vida útil da jazida, uma vez que a camada suspeita de estar contaminando o produto final com impurezas orgânicas é bastante delgada e ocorre apenas superficialmente.

Como forma de controlar o excesso de impurezas orgânicas, um programa sistemático de análise deste índice de qualidade pode ser implantado, baseado em coleta periódica de amostras em diferentes lotes das pilhas de estocagem, e execução dos ensaios previstos na norma NBR-7221 (ABNT, 1987d).

Se esta característica continuar sendo detectada, pode-se readequar as operações de beneficiamento incluindo uma etapa de lavagem da areia, visando eliminar ou, pelo menos, minimizar a presença de impurezas orgânicas.

As análises granulométricas das areias coletadas nas três pilhas de estocagem enquadram-se nos padrões da ABNT, classificando-as em “areia muito fina” e “areia média”. Estas areias são compostas essencialmente por quartzo e feldspato, tendo como acessórios minerais: mica, aluminossilicatos, agregados de óxido de ferro, carbonatos, ilmenita, rutilo, zircão e leucóxênio. Estes minerais, na quantidade que ocorrem, não comprometem, por suas características físico-químicas, a durabilidade e resistência do concreto.

9.1. SUGESTÃO DE CONTINUIDADE DO ESTUDO

Como proposta de continuidade do estudo, tendo ainda como escopo o emprego da areia como agregado miúdo para construção civil, sugere-se inicialmente, a elaboração de um estudo detalhado da jazida, especificamente no que diz respeito à origem das impurezas orgânicas presentes no produto final. Isto pode ser feito a partir de uma amostragem sistemática das diversas camadas constituintes do depósito e ensaios de determinação de impurezas orgânicas.

Uma vez determinada a origem destas impurezas, o estudo pode envolver o dimensionamento do processo de beneficiamento que inclua uma etapa (operação unitária) de remoção das impurezas orgânicas, ou o planejamento de um processo de lavra que separe a camada “contaminada” com matéria orgânica em excesso.

Outra linha de pesquisa de interesse é a caracterização do mercado consumidor de concretos e argamassas e das centrais de dosagens existentes no litoral sul, Baixada Santista e Vale do Ribeira, no que diz respeito às características exigidas de módulo de finura, coeficiente de uniformidade e distribuição granulométrica dos agregados miúdos. Este levantamento poderá embasar uma pesquisa mais detalhada com a finalidade de adequar o agregado produzido às exigências do mercado, bem como fornecer subsídios para conduzir um estudo de dosagens, visando não apenas a comparação do desempenho deste produto em concretos e argamassas com os outros produtos disponíveis no mercado, como o consumo de cimento, um dos fatores mais relevantes na fabricação de concretos e argamassas, do ponto de vista econômico.

De interesse, também, é a caracterização das areias de Subaúma visando sua utilização na indústria vidreira. Devido às características deste segmento da indústria, que exige um controle de qualidade do material muito mais rigoroso, é importante, além da caracterização do produto lavrado para este fim quanto à sua composição química, o dimensionamento adequado do processo de beneficiamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Método de ensaio - NBR 7251.** Rio de Janeiro, 1982a.
- _____. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **Agregados para concreto - NBR 7211.** Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Método de ensaio - NBR 7220.** Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de pedregulho e areia - NBR 6491.** Rio de Janeiro, 1985.
- _____. **Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio - NBR 7217.** Rio de Janeiro, 1987a.
- _____. **Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Método de ensaio - NBR 7218.** Rio de Janeiro, 1987b.
- _____. **Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos. Método de ensaio - NBR 7219.** Rio de Janeiro, 1987c.
- _____. **Agregados - Ensaio de qualidade de agregado miúdo. Método de ensaio - NBR 7221.** Rio de Janeiro, 1987d.
- _____. **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Método de ensaio - NBR 9776.** Rio de Janeiro, 1987e.
- _____. **Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto - NBR 7389.** Rio de Janeiro, 1992
- AZEVEDO, R. M. B. *et al.* **Areia para construção.** In: IPT. Mercado Produtor Mineral do Estado de São Paulo - Levantamento e Análise. São Paulo: PRÓ-MINÉRIO/IPT, 1990. p. 33-59.

CARNEIRO, A. M. P. e CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/237. 14p. São Paulo: EPUSP, 1999.

CATERPILLAR. **Manual de rendimento.** 27 ed. Peoria, Illinois, EUA: Caterpillar inc., 1996.

CLINTON, B. **Improving the civilian global positioning system (GPS).** The White House Office of the Press Secretary. Comunicado obtido através da internet no sítio: <http://www.gpstm.com/eng/whitehouse.htm>. em 16.09.03. 2000

COMITÉ MERCOSUR DE NORMALIZACION (CMN). **Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis - NM 44.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995a

_____. **Agregados - Determinação da massa unitária e dos espaços vazios - NM 45.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995b

_____. **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros por lavagem - NM 46.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995c

_____. **Agregado para concreto - Exame petrográfico - NM 54.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996

_____. **Agregado miúdo - determinação da absorção de água - NM 30.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001a

_____. **Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas - NM 49.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001b

_____. **Agregado fino - Determinação da composição granulométrica - NM 248.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001c

DNIT (Departamento Nacional da Infra-estrutura de Transportes). **Mapa rodoviário de São Paulo.** Escala 1:1.000.000 Rio de Janeiro, 2002.

DER (Departamento de Estradas e Rodagem). **Mapa rodoviário da região DR-5 (Cubatão)** Escala 1:250.000 São Paulo, S.D.

DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral). **Sumário mineral 2002**. Brasília. v.22. 2002.

DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral). **Sumário mineral 2003**. Brasília. v.23. 2003.

FERRARI, C. P. *et al.* **Projeto avaliação dos depósitos de areia industrial na Baixada Santista - Relatório final**. São Paulo: CPRM, 1990. 2v.

FERREIRA, O. P. **A utilização de areia fina na fabricação do concreto e sua influência em algumas propriedades deste material**. 1985. 185p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1985.

FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de rochas na construção civil**. 132p. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Brasília: Senai/Encol. Ed. Pini, 1992.

HENNIES, W. T.; AYRES DA SILVA, L. A. **Abertura de vias subterrâneas**. Apostila do curso PMI-513 - Abertura de vias subterrâneas do Departamento de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 284p. São Paulo, 1994.

HOTMIX. **Aggregate**. Publicação extraída da internet em 03.11.03, a partir do sítio http://hotmix.ce.washington.edu/wsdot_web/Modules/03_materials/03-2_body.htm. 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1981. Escala 1:500.000, v.2, Divisão de Minas e Geologia Aplicada.

- LANGER, W. H. *et al.* **Sustainability indicators for aggregates.** *In:* International Conference Sustainable Development Indicators in the Mineral Industries, SDIMI 2003, Milos, Greece, Ed. Z. Agioutantis, Pub. Milos Conference Center - George Eliopoulos, Book of Proceedings. p. 251 - 257.
- MACEDO, A. B.; COIMBRA, A.; NATIVIDADE, H. **Projeto diretrizes para mineração de areia na Região Metropolitana de São Paulo.** Relatório Final. Fase I. São Paulo: CPRM/DNPM, 1985.
- MAROTA, T. W.; HERUBIN, C. A. **Basic construction materials. Methods and testing.** 4th ed. (S.I.): Prentice Hall / Regents, 1993. 472p.
- MEHTA, P. K. **Concrete: structure, properties and materials.** Prentice-Hall. New Jersey: [s.n.], 1986. 450p.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2ª ed. Trad. de Salvador E. Giamusso. São Paulo: PINI/ABCP, 1997.
- PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico).** 1ª ed. São Paulo: T. A. Queiróz, Edusp, 1983. 631p.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13ª edição. São Paulo: ed. Globo, 1971.
- PONÇANO, W. L. *et al.* **Texto explicativo do mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1981. Monografias, 5. 2v.
- PRENTICE, J. E. **Geology of construction materials.** Topics in the Earth Sciences, 4. 202p. Londres: ed. Chapman and Hall, 1990.
- SBRIGHI NETO, C. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos.** Revista Areia e Brita nº 12. São Paulo: ANEPAC, 2000.
- SBRIGHI NETO, C. **Normalização de agregados para concreto.** *In:* SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1. Campinas. **Anais.** São Paulo: ANEPAC, 2001.

- SHAKHMENKO, G.; BIRSH, J. **Concrete mix design and optimization**. 2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering. 8p. Budapest, 1998
- SMITH, M. R.; COLLIS, L. **Aggregates - Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes**. 2^a ed. Londres: Geological Society, 1993. Engineering Geology Special Publication nº 9. 329p.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. **Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense**. In: Intern. Symp. on Coastal Evol. in the Quaternary. Special Publication. (1): 55 - 8 mapas. São Paulo, 1978.
- VALVERDE, F. M. *et al.* **Bases para o planejamento da mineração de areia na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: DNPM/CPRM, 1997.
- VALVERDE, F. M. Agregados para Construção Civil In: DNPM. **Anuário mineral brasileiro**. Brasília: DNPM, 2001.
- WHITAKER, W. **Técnicas de preparação de areia para uso na construção civil**. 2001. 202p. + anexos. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001.
- ZANCHETTA, L. M. **Características tecnológicas de argamassas elaboradas com diferentes tipos de areias**. 2000. 79p + anexos. Monografia (Trabalho de Formatura). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.