

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE
ARGAMASSAS ELABORADAS COM
DIFERENTES TIPOS DE AREIAS**

Liz de Mello Zanchetta

Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2000/13)

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE ARGAMASSAS
ELABORADAS COM DIFERENTES TIPOS DE AREIAS**

LIZ DE MELLO ZANCHETTA



DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lindolfo Soares

A handwritten signature in blue ink, likely of Prof. Dr. Lindolfo Soares, written over a horizontal line.

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

A handwritten signature in blue ink, likely of Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini, written over a horizontal line.

Prof. Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade

A handwritten signature in blue ink, likely of Prof. Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade, written over a horizontal line.

DEDALUS - Acervo - IGC



30900006058

SÃO PAULO
2000

TF
227
LM.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DOAÇÃO Comissão

do Trabalho de Formatura

Data: 07/02/01

LIZ DE MELLO ZANCHETTA

DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

[Handwritten signatures and marks on the exam board lines]

Prof. Dr. Lindolfo Soares

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

Prof. Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade

SÃO PAULO
2000

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, ao Prof. Dr. Lindolfo Soares pela orientação, pela amizade, carinho, dedicação e bom humor contagiante de sempre;

às minerações Embú S.A. Engenharia e Comércio, SARP, PIROMIX, Pirâmide Grão de Areia-Peixoto e MINERCON por terem fornecido material para o desenvolvimento do trabalho;

ao Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, especialmente ao Tico e ao Alfredo por toda atenção, disposição, ajuda e pelas muitas risadas durante todo este ano de 2000;

ao Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, pelas análises para determinação da Granulometria por Difração Laser;

ao Ricardo Moreno pela ajuda na fase de coleta das amostras;

à todo o pessoal do Laboratório de Concreto do Agrupamento de Materiais de Construção Civil, Divisão de Engenharia Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, especialmente ao Pedro por toda atenção e disposição, além de todas as explicações sobre argamassas & Cia., e ao Alexandre por ter executado praticamente todo o Ensaio de Resistência à Compressão Simples explicando-o passo a passo;

ao Laboratório de Petrografia Sedimentar do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, especialmente ao Prof. Dr. Paulo Gianinni pela ajuda no entendimento dos resultados obtidos na Microscopia Óptica;

ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e ao Isaac pelas belas imagens que obtivemos ao Microscópio Eletrônico e pelas risadas;

à Luci pelo interesse, pela ajuda e atenção na Microscopia Eletrônica de Varredura;

à FAPESP, agradeço o voto de confiança em mim depositado no decorrer deste ano de 2000, e espero honrá-lo com este trabalho (Processo n. 99/10117-3);

à Profa. Dra. Gianna Maria Garda pelo esforço e ajuda durante todo este ano em que presidiu a Comissão de Trabalho de Formatura do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo;

aos meus pais e minha família por toda compreensão, todo o amor, apoio psicológico e financeiro e pela enorme paciência que recebo nestes 23 anos de vida e

ao Fê pela companhia de todos os minutos, pelas opiniões, pela ajuda inestimável no computador e pelo amor pois sem ele este trabalho não seria desta forma.

ÍNDICE

RESUMO	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVOS	3
3. RELEVÂNCIA DO PROJETO	3
4. RESULTADOS ESPERADOS	3
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
6. MATERIAIS E MÉTODOS	5
6.1 DIFERENTES TIPOS DE AREIAS E A GEOLOGIA ASSOCIADA	5
6.2 PREPARAÇÃO DAS AREIAS EM LABORATÓRIO	18
6.3 ENSAIOS NORMATIZADOS	21
6.3.1 <i>Análise da Distribuição Granulométrica</i>	21
6.3.2 <i>Determinação da Resistência à Compressão Simples</i>	22
6.4 ENSAIOS NÃO NORMATIZADOS	32
6.4.1 <i>Determinação da Densidade Real</i>	32
6.4.2 <i>Determinação de Índice de Forma e Textura dos Grãos</i>	35
6.4.3 <i>Avaliação Microscópica Óptica</i>	37
6.4.4 <i>Determinação da Granulometria por Difração Laser</i>	39
6.4.5 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	39
7. RESULTADOS OBTIDOS	40
7.1 ENSAIOS NORMATIZADOS	40
7.1.1 <i>Análise da Distribuição Granulométrica</i>	40
7.1.2 <i>Determinação da Resistência à Compressão Simples</i>	47
7.2 ENSAIOS NÃO NORMATIZADOS	50
7.2.1 <i>Determinação da Densidade Real</i>	50
7.2.2 <i>Determinação do Índice de Forma e Textura dos Grãos</i>	51
7.2.3 <i>Avaliação Microscópica Óptica</i>	53
7.2.4 <i>Determinação da Granulometria por Difração Laser</i>	64
7.2.5 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	66
8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	70
9. CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO 1 (IMAGENS E TABELAS – AVALIAÇÃO POR MICROSCOPIA ÓPTICA)	80

ÍNDICE DE FIGURAS E FOTOS

FIGURA 1. Locais de coleta das amostras. -----	6
FIGURA 2. Mapa geológico da região de coleta da areia aluvionar (<i>fonte: IPT, 1981</i>). -----	7
FIGURA 3. Mapa geológico da região de coleta da areia de ambiente eólico – paleodunas (<i>fonte: IPT, 1981</i>). -----	10
FIGURA 4. Mapa geológico da região de coleta da areia proveniente de alteração de maciço rochoso (<i>fonte: IPT, 1981</i>). -----	13
FIGURA 5. Mapa geológico da região de coleta da areia resultante da britagem de rocha (<i>fonte: IPT, 1981</i>). -----	14
FIGURA 6. Mapa geológico da região de coleta da areia proveniente da moagem de rocha quartzítica (<i>fonte: IPT, 1981</i>). -----	17
FIGURA 7. Fluxograma de desenvolvimento dos trabalhos e ensaios laboratoriais realizados. -----	19
FIGURA 8. Avaliação conjunta da determinação do grau de arredondamento. -----	38
FIGURA 9. Curva granulométrica da areia resultante da britagem de rocha. -----	41
FIGURA 10. Curva granulométrica da areia eólica. -----	42
FIGURA 11. Curva granulométrica da areia de leito de rio. -----	44
FIGURA 12. Curva granulométrica da areia resultante da moagem de quartzito. -----	45
FIGURA 13. Curva granulométrica da areia de desmonte hidráulico. -----	46
FIGURA 14. Módulo de finura das areias estudadas. -----	46
FIGURA 15. Curvas granulométricas comparando os diferentes tipos de areias estudados. -----	47
FIGURA 16. Gráfico comparativo de resistência à compressão simples para argamassas estudadas. -----	49
FIGURA 17. Densidade real das areias analisadas. -----	51
FIGURA 18. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia resultante da britagem de rocha. -----	55
FIGURA 19. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia eólica. -----	57
FIGURA 20. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia de leito de rio. -----	59
FIGURA 21. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia resultante da moagem de quartzito. -----	61
FIGURA 22. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia de desmonte hidráulico. -----	63
FIGURA 23. Distribuição e curva granulométrica do material representativo da fração menor que #100 da areia de britagem de rocha -----	s/n
FIGURA 24. Distribuição e curva granulométrica do material representativo da fração menor que #100 da areia eólica -----	s/n

FIGURA 25. Distribuição e curva granulométrica do material representativo da fração menor que #100 da areia de leito de rio -----	s/n
FIGURA 26. Distribuição e curva granulométrica do material representativo da fração menor que #100 da areia de moagem de quartzito -----	s/n
FIGURA 27. Distribuição e curva granulométrica do material representativo da fração menor que #100 da areia de desmonte hidráulico -----	s/n
FIGURA 28. Argamassa elaborada com areia de britagem de rocha. Aumento de 55 vezes. Observar a forma dos grãos, a distribuição granulométrica e o seu envolvimento pela massa de cimento. -----	67
FIGURA 29. Grão de areia de britagem de rocha envolto pelo cimento. Aumento de 10.000 vezes. Observar superfície lisa do grão e ausência de neominerais ao seu redor. -----	67
FIGURA 30. Massa de cimento da argamassa elaborada com areia de leito de rio. Aumento de 5.000 vezes. Observar microcristalização de silicato de cálcio no ponto 1. -----	68
FIGURA 31. Análise química do ponto 1 assinalado na figura 30. Observar presença marcante de cálcio, seguido por oxigênio e silício. -----	69
FIGURA 32. Análise química do ponto 2 assinalado na figura 30. Silício, cálcio e oxigênio são acompanhados por alumínio, magnésio, sódio, potássio e ferro. -----	69
FIGURA 33. Análise química do ponto 3 assinalado na figura 30. Cálcio e silício predominam e são acompanhados por oxigênio e cloro. -----	69
FOTO 1. Draga flutuante para extração de areia aluvionar. Ponte de Registro, Rio Ribeira de Iguape, Registro, SP. -----	8
FOTO 2. Peneira que recebe a areia dragada para separação do pedrisco e da matéria orgânica da areia. Pirâmide grão de areia – Peixoto. Rio Ribeira de Iguape, Registro, SP. -----	9
FOTO 3. Jazida de areia eólica. Rochas sedimentares formadas em ambiente eólico – paleodunas. Minercon, Analândia, SP. -----	11
FOTO 4. Pilha de material arenoso, para destinação ao mercado, onde se processou a amostragem das areias eólicas. Minercon, Analândia, SP. -----	12
FOTO 5. Pedreira implantada sobre rochas graníticas. Embú S. A. Engenharia e Comércio. Embú, SP. -----	15
FOTO 6. Pilha de amostragem de finos resultante da britagem de rocha. Embú S. A. Engenharia e Comércio. Embú, SP. -----	16
FOTO 7. Britadores, moinhos e esteiras da mineração de rocha quartzítica. PIROMIX. Pirapora do Bom Jesus, SP. -----	17
FOTO 8. Pilha de rocha quartzítica moída, de onde foram coletadas as amostras da empresa mineradora PIROMIX. Pirapora do Bom Jesus, SP. -----	18
FOTO 9. Pilha de homogeneização (amostra: finos de pedreira, coletada em Embú, SP). -----	20
FOTO 10. Separação das alíquotas após a homogeneização da areia. -----	21
FOTO 11. Equipamento para determinação do índice de consistência da argamassa. ("flow table"). -----	24
FOTO 12. Determinação da consistência da argamassa. Preenchimento do cone para execução de ensaio na "flow table". -----	25
FOTO 13. Determinação da consistência da argamassa, logo após retirada do cone. -----	26

FOTO 14. Determinação da consistência da argamassa. Disco de argamassa após 30 golpes realizados na "flow table". -----	26
FOTO 15. Moldagem dos corpos de prova. Preenchimento dos moldes com argamassa e compactação com soquete metálico. -----	28
FOTO 16. Moldagem dos corpos de prova. Retirada do excesso de massa dos moldes para uniformidade da superfície dos corpos de prova. -----	28
FOTO 17. Moldagem dos corpos de prova. Colocação das placas de vidro sobre cada molde para preservação de umidade e regularidade da face superior dos corpos de prova. -----	29
FOTO 18. Tanque onde podem ser observados os corpos de prova submersos para cura durante os períodos predeterminados de 7, 28 e 90 dias. -----	30
FOTO 19. Corpos de prova já capeados com enxofre em suas extremidades. -----	31
FOTO 20. Ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova após 7 dias de cura. ---	31
FOTO 21. Ensaio de resistência à compressão simples. Detalhe de fissuras após a ruptura do corpo de prova. -----	32
FOTO 22. Ensaio para determinação de densidade real. Materiais utilizados. -----	33
FOTO 23. Ensaio para determinação de densidade real. Piquinômetro sendo pesado com amostra de areia e água. -----	34
FOTO 24. Ensaio para determinação do índice de forma e textura dos grãos. Materiais utilizados. --	35
FOTO 25. Ensaio para a determinação do índice de forma e textura dos grãos. Cilindro sendo rasado para retirada do excesso de areia. -----	36
FOTO 26. Ensaio para a determinação do índice de forma e textura dos grãos. Pesagem do cilindro, depois de rasado. -----	36

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. Massa unitária das areias estudadas. -----	22
TABELA 2. Teores dos componentes e exigências químicas do cimento utilizado na elaboração das argamassas. -----	23
TABELA 3. Traço das argamassas ensaiadas. -----	23
TABELA 4. Massas de cimento para determinação do teor de água. -----	23
TABELA 5. Massas do aglomerante, do agregado e da água utilizadas para obtenção do índice de consistência. -----	25
TABELA 6. Massas do aglomerante, do agregado e da água utilizadas para a elaboração dos corpos de prova. -----	27
TABELA 7. Distribuição granulométrica da areia resultante da britagem de rocha. -----	41
TABELA 8. Distribuição granulométrica da areia eólica. -----	42
TABELA 9. Distribuição granulométrica da areia de leito de rio. -----	43
TABELA 10. Distribuição granulométrica da areia de moagem de quartzito. -----	44

TABELA 11. Distribuição granulométrica da areia de desmonte hidráulico. -----	45
TABELA 12. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples após 7 dias de cura. ----	48
TABELA 13. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples após 28 dias de cura. --	48
TABELA 14. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples após 90 dias de cura. --	48
TABELA 15. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples utilizando-se areia padrão. -----	49
TABELA 16. Resultados do ensaio para determinação de densidade real. -----	50
TABELA 17. Índice de forma e textura superficial dos grãos. -----	52
TABELA 18. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia de britagem de rocha em três frações granulométricas. -----	54
TABELA 19. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia eólica em três frações granulométricas. -----	56
TABELA 20. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia de leito de rio em três frações granulométricas. -----	58
TABELA 21. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia resultante da moagem de quartzito em três frações granulométricas. -----	60
TABELA 22. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia de desmonte hidráulico em três frações granulométricas. -----	62

RESUMO

Este estudo apresenta e discute a determinação das características tecnológicas de cinco tipos de material arenoso e define as principais propriedades das argamassas produzidas com estas areias. As areias, de origens distintas, são as resultantes do desmonte hidráulico de solos originados do intemperismo de maciços rochosos (saprolito), as resultantes do processo de britagem/moagem de rocha, as aluvionares e as representantes de ambientes eólico (paleodunas). Isto é fundamental pois, as diferentes procedências/processos de obtenção determinam as características do material, como granulometria, mineralogia, forma e textura dos grãos e estas são responsáveis pelos diferentes comportamentos das argamassas empregadas na construção civil. Assim, espera-se que outros tipos de areias, além da aluvionar, a mais utilizada pelo mercado atualmente, venham a ser alvo de novas explorações.

ABSTRACT

This study presents and discusses the determination of technological characteristics carried out for five types of sandy materials and defines the major properties of mortars produced with them. These sands, from discrete sources, result from hydraulic excavation of weathered soils (saprolite) from rock massives, from rock crushing/milling process, alluvial sands, and those representing the eolic environment (paleodunes). This is a fundamental factor since discrete sources/processes for obtaining sandy materials define their inherent characteristics such as granulometry, mineralogy, grains' shape and texture which account for different performances of mortars used in civil construction. Therefore, it is expected that other types of sand, except the alluvional one, which is actually the type most used by the market, become the target for new exploitations.

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana da Grande São Paulo é o maior centro consumidor de areias para a construção civil do país, com um consumo de aproximadamente 25 milhões m^3/ano (Born *et al.*, 1996; Soares *et al.*, 1996a). Deste volume, 85% provém de regiões distantes, dentre as quais encontram-se áreas fornecedoras situadas no Vale do Rio Paraíba do Sul e no Vale do Rio Ribeira de Iguape, a 120km e 150km, respectivamente, do local de demanda (Soares *et al.*, 1997).

Particularmente, a porção paulista do Vale do Rio Paraíba do Sul é responsável por 5% do total de areia para a construção civil produzido no Brasil, constituindo-se na maior região produtora de areia do país. Representa também 25% de toda a produção areeira do Estado de São Paulo. A produção de areia no Vale do Rio Paraíba do Sul, compreendendo os municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba, atinge, hoje, aproximadamente 750.000 $\text{m}^3/\text{mês}$ (9.000.000 m^3/ano). Desta produção, cerca de 80% destina-se ao abastecimento da capital paulista e a Região da Grande São Paulo (ANEPAC, 2000). No que se refere ao consumo brasileiro *per capita* de agregados, o valor é de apenas 1,4t. No Estado de São Paulo, o mais desenvolvido economicamente, está em torno de 4t, metade do consumo dos países desenvolvidos. O consumo *per capita* do norte-americano, em 1996, foi de 8,84t (Valverde, 1999).

As regiões produtoras de areias estão cada vez mais distantes da capital devido ao esgotamento gradual de jazidas junto aos centros urbanos, associado aos conflitos originados pela ocupação territorial e pressões das entidades ligadas à preservação ambiental (Soares *et al.*, 1997). Tais fatores resultam na grande escassez de areias naturais para a construção civil (Fujimura *et al.*, 1996) e, por vezes, no fechamento do empreendimento de lavra.

Como consequência desta situação, há o aumento significativo dos preços das areias naturais para construção civil (Fujimura *et al.*, 1996; Soares *et al.*, 1997) e a indução de exploração de recursos alternativos de materiais de construção situados o mais próximo possível das áreas de consumo (Soares *et al.*, 1996b). Destes materiais, podem ser citadas as areias de solo de alteração, resultantes do intemperismo de maciços rochosos graníticos e gnáissicos e aquelas resultantes do processo de britagem/moagem de rocha (Sbrighi Neto & Soares, 1996).

Desta forma, a pesquisa e o conhecimento das areias aplicadas em argamassas fazem deste bem mineral um tema atual e o seu estudo comparativo mais detalhado torna-se necessário e de interesse, tanto científico como econômico, além de ambientalmente correto, podendo representar alternativas de consumo na área da engenharia civil.

2. OBJETIVOS

Este estudo visa a determinação das características tecnológicas de cinco variedades de material arenoso, ou seja, de cinco origens geológicas distintas e ainda, definir as principais características das argamassas produzidas com estes diferentes tipos de areia, para que possam ser utilizados como materiais alternativos na área da construção civil.

3. RELEVÂNCIA DO PROJETO

Um dos principais fatores que motivou a realização deste projeto é a grande procura e uso de areia aluvionar na construção civil, quando comparados ao restrito emprego de areias de outras origens. Entre estas citam-se as naturais (eólicas, provenientes de rochas sedimentares formadas em ambientes eólicos – paleodunas; as presentes nos saprólitos, resultantes do intemperismo de maciços rochosos de granulação grossa) e as artificiais (resultantes do processo de moagem de rocha para obtenção da brita).

O estudo destes tipos de areia é fundamental, pois as diferentes procedências/processos de obtenção determinam as características intrínsecas do material, tais como granulometria, mineralogia, forma e textura dos grãos. Estas características são responsáveis pelos diferentes comportamentos das argamassas empregadas na construção civil, tais como a resistência e facilidade de manuseio na preparação da mistura de cimento, água e areia (Smith & Collis, 1993).

Estudos realizados sobre areias provenientes do processo de britagem de rocha granítica (areia de brita), revelaram que este tipo de areia mostra uma boa performance quando empregado no concreto, além das características adequadas desta areia quando comparada com a areia natural em argamassas (Sbrighi Neto, 1976).

4. RESULTADOS ESPERADOS

Fundamentando-se nos resultados obtidos, foram feitas considerações sobre as diferentes características das argamassas elaboradas com as referidas areias e tentativas de explicações para o comportamento do mercado frente à aplicação destes materiais na construção civil.

Com isso, espera-se que os outros tipos de areias, além da aluvionar, venham a ser alvo de exploração em jazidas localizadas mais próximas dos centros consumidores, proporcionando assim, queda do preço de custo e aumento da demanda a partir de seu emprego na elaboração de argamassas de qualidade aceitável.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Notou-se que a maior parte dos trabalhos relacionados ao emprego de agregados miúdos na construção civil, está direcionada à sua aplicação em concretos e também argamassas. Exemplo disso são os estudos realizados por Sbrighi Neto (1976), Sbrighi Neto & Soares (1996), Fujimura *et al.* (1996) e Gonçalves *et al.* (2000) que dão maior atenção à areia originada da britagem de rocha granítica (areia de brita); por Sbrighi Neto (1998) que mostra a importância da geologia na seleção de agregados; por Agopyan (1986) estudando a pureza dos agregados e sua relevância e por Soares *et al.* (1996a) dando enfoque à areia de brita como agregado para o concreto compactado a rolo.

Sobre a areia utilizada na elaboração de argamassa, devem ser citados os trabalhos realizados por Selmo (1986) que visa a utilização da areia natural para argamassas de revestimento; Sabbatini (1986) que dá destaque às areias para argamassas de assentamento e por Carneiro & Cincotto (1997) que dão atenção à importância da heterogeneidade granulométrica da areia. Deve-se dizer, porém, que o objetivo deste projeto visou a caracterização de argamassas, de forma geral, não especificando suas aplicações, possibilitando assim, a formação de base para estudos futuros objetivando a utilização deste bem mineral na preparação de argamassas de aplicação específica.

Dentre os muitos estudos existentes, relacionados ao tema, são relevantes o de Born *et al.* (1996) que dão atenção às areias resultantes do intemperismo de maciços rochosos; o de Sant'Agostino & Kahn (1997) que dão enfoque à caracterização tecnológica de matérias primas minerais; Cuchierato & Sant'Agostino (2000) e Gonçalves *et al.* (2000) que visam a caracterização tecnológica/mineralógica do pó de pedra (areia de brita); Bauer (1994) e Ioshimoto *et al.* (s/d) que estudaram os agregados de uma forma mais ampla e Kihara (1986) que especificamente dá enfoque aos aspectos mineralógicos da reação entre álcalis ativos do cimento e algumas espécies de minerais presentes em alguns tipos de agregados.

Particularmente com relação às argamassas, dois trabalhos que trazem informações básicas sobre o tema devem ser citados: o de Fiorito (1994) e o de Ioshimoto (1988) ambos podendo ser considerados verdadeiros manuais, textos de apoio básicos para este trabalho.

Finalmente, a questão ambiental, também de muita importância, é abordada por Soares *et al.* (1996b, 1997) e por ANEPAC (2000) que estudam a relação entre as jazidas e o meio ambiente.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Diferentes Tipos de Areias e a Geologia Associada

Os diferentes tipos de areias que foram caracterizados e com os quais foram elaboradas as argamassas, são diferenciados com base na origem distinta de cada um:

- ♦1) areia aluvionar, proveniente de leito de rio;
- ♦2) areia eólica, proveniente de rochas sedimentares formadas em ambiente eólico (paleodunas);
- ♦3) areia de solo de alteração, resultante do intemperismo de maciços rochosos (granitos e gnaisses);
- ♦4) areia resultante do processo de britagem de rochas graníticas; e
- ♦5) areia resultante da moagem de rocha quartzítica.

Além destes cinco tipos de areias, a areia Normal Brasileira (areia padrão) foi considerada alvo comparativo para os demais. Assim, foram utilizados os resultados de ensaios tecnológicos, realizados pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, com argamassas elaboradas com esta areia padrão.

A areia padrão é um dos constituintes na elaboração de corpos de prova cilíndricos de argamassa que se destinam à avaliação de resistência à compressão, após cura em câmara úmida (Sbrighi Neto & Caruso, 1977). Segundo a Norma ABNT (1982a): Areia normal para ensaio de cimento – Especificação (NBR-7214). É definida como material natural quartzoso, extraído do Rio Tietê na região do Município de São Paulo, produzido e fornecido pelo IPT. A padronização desta areia é fundamentada na sua distribuição granulométrica, sendo composta por:

- ♦25%, em massa, de areia grossa, com grãos de diâmetro entre 2,4 e 1,2mm (#8 e #14);
- ♦25%, em massa, de areia média grossa, com grãos de diâmetro entre 1,2 e 0,6mm (#14 e #28);
- ♦25%, em massa, de areia média fina, com grãos de diâmetro entre 0,6 e 0,3mm (#28 e #48) e
- ♦25%, em massa, de areia fina, com grãos de diâmetro entre 0,3 e 0,15mm (#48 e #100).

Os cinco tipos de areias a serem estudados foram amostrados dentro do Estado de São Paulo, inclusive em regiões da Grande São Paulo. Os locais onde se realizou a coleta das amostras estão apresentados na Figura 1.

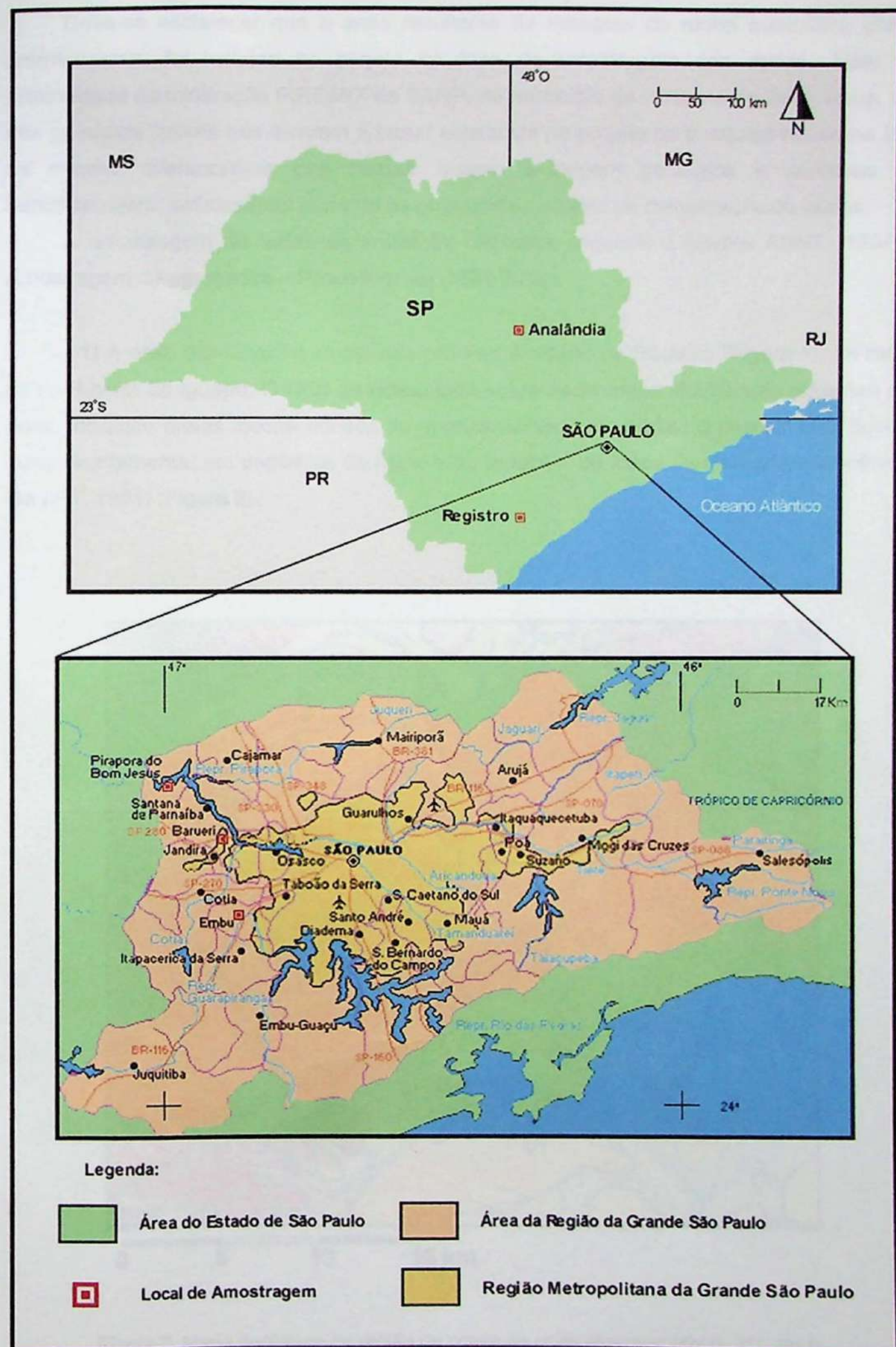


Figura 1. Locais de coleta das amostras.

Deve-se esclarecer que a areia resultante da moagem de rocha quartzítica citada anteriormente, foi incluída no projeto na fase de amostragem das areias. Além da proximidade da mineração PIROMIX da SARP, no município de Pirapora do Bom Jesus, um dos principais fatores que levaram a incluir esta areia no projeto de pesquisa reside no fato da mesma diferenciar-se das demais quanto à origem geológica e processo de beneficiamento, satisfazendo portanto os objetivos do projeto de comparação de areias.

A amostragem de todas as areias foi realizada segundo a Norma ABNT (1987a): Amostragem de agregados – Procedimento (NBR-7216).

♦1) A areia aluvionar foi amostrada próximo à cidade de Registro (Figura 1), na calha do rio Ribeira de Iguape. O local de coleta está sobre sedimentos aluvionares (aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços) de idade Quaternária–Holocênica, **Qa** (IPT, 1981) (Figura 2).

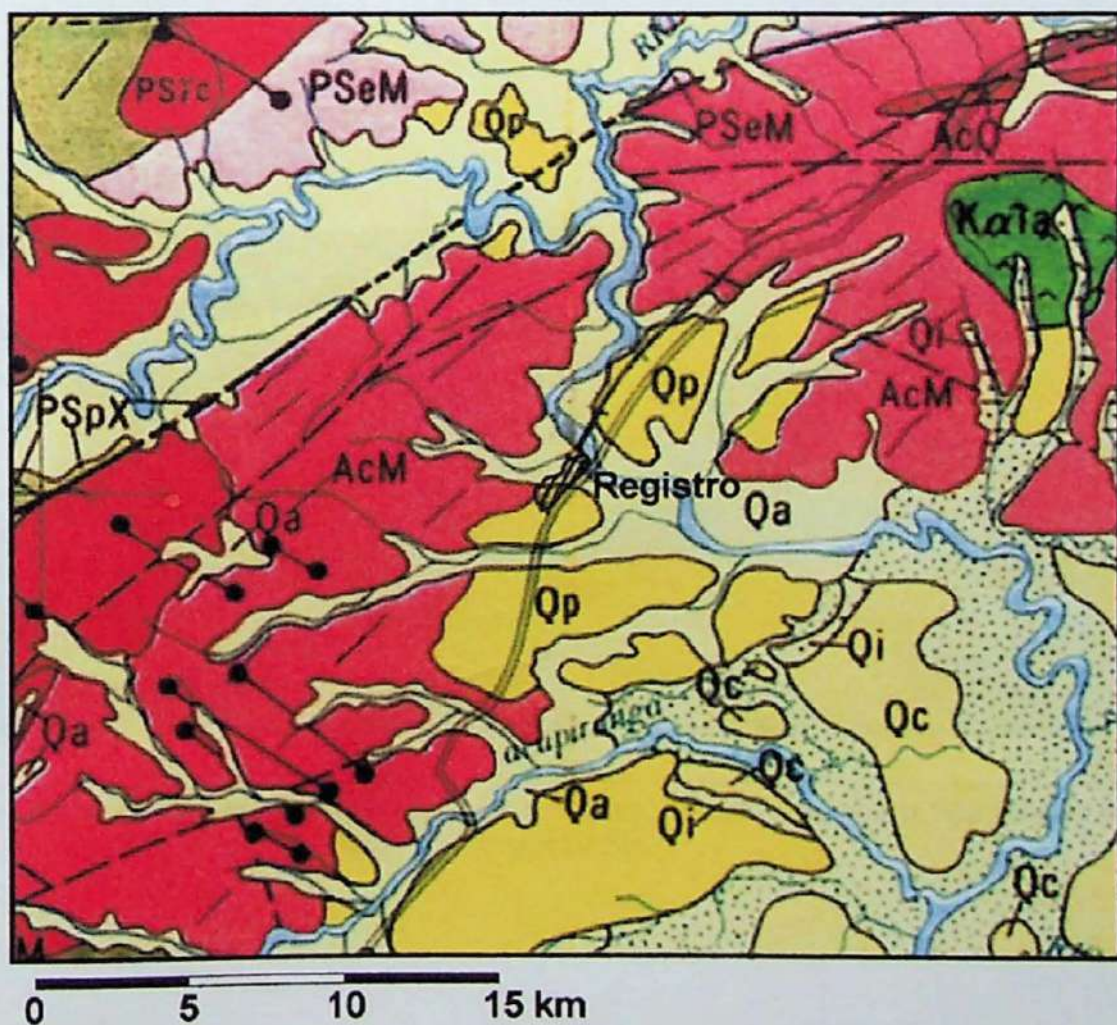


Figura 2. Mapa geológico da região de coleta da areia aluvionar (Fonte: IPT, 1981).

A amostragem foi realizada na mineração *Pirâmide Grão de Areia - Peixoto*, especializada em extração de areia de leito de rio, localizada a jusante da ponte de Registro; Rodovia Régis Bittencourt, km 444, na margem esquerda do rio Ribeira de Iguape.

O processo de extração é simples: a areia do fundo do rio é dragada por dragas flutuantes (Foto 1), descarregada em sua margem, próximo à área de beneficiamento de onde é então, por bombeamento, encaminhada para o processo de peneiramento e estocagem. Neste processo, o pedrisco e a matéria orgânica mais grossa são separados do material mais fino representado pelas areias (Foto 2). A pilha de areia resultante após a passagem de material dragado pelo peneiramento foi o local onde se processou a coleta do material.



Foto 1. Draga flutuante para extração de areia aluvionar. Ponte de Registro, Rio Ribeira de Iguape, Registro, SP.



Foto 2. Peneira que recebe a areia dragada para separação do pedrisco e da matéria orgânica da areia. Pirâmide Grão de Areia – Peixoto. Rio Ribeira de Iguape, Registro, SP.

♦2) A areia eólica foi amostrada próximo à cidade de Analândia (Figura 1). A amostra é procedente da Formação Botucatu, Grupo São Bento, da Bacia do Paraná, de idade Mesozóica (Jurássico-Cretáceo), **JKb**. Esta Formação é caracterizada por arenitos eólicos avermelhados, de granulação fina a média, com estratificações cruzadas de médio a grande porte (IPT, 1981) (Figura 3).

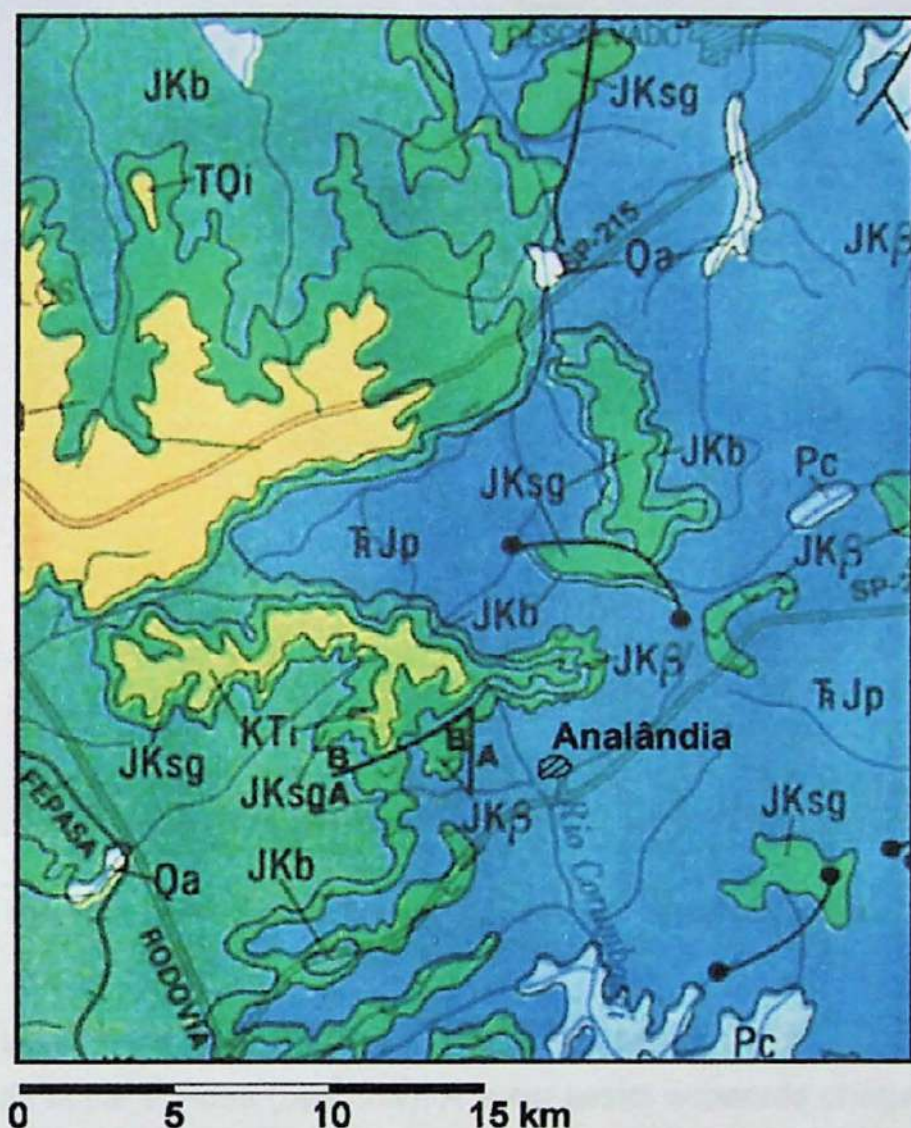


Figura 3. Mapa geológico da região de coleta da areia de ambiente eólico – paleodunas (Fonte: IPT, 1981).

A coleta foi feita na área da mineração *Minercon*, cujo acesso se dá pela Rodovia Anhangüera, saída km 206 para Analândia.

Os processos de extração e beneficiamento são relativamente simples: a areia é retirada da jazida (Foto 3) por desmonte mecânico com emprego de pás carregadoras e lançada num silo, de onde flui para uma esteira que leva as areias a um sistema de jatos de água para formação de uma polpa. Esta polpa passa por duas peneiras onde a areia de granulação mais grossa e fragmentos vegetais indesejáveis ficam retidos.



Foto 3. Jazida de areia eólica. Rochas sedimentares formadas em ambiente eólico – paleodunas. Minercon, Analândia, SP.

O passante pelas peneiras é levado, então, para o primeiro hidrociclone que separa a areia (*underflow*) da lama argilosa (*overflow*). A areia assim separada chega a um segundo e último hidrociclone onde sofre o mesmo processo de separação, para a retirada do material argiloso que não tenha sido separado na primeira ciclonagem. Nesta etapa, a areia está pronta para o comércio. A lama argilosa é levada a uma barragem de contenção de rejeitos por tubulação de ferro. Esta barragem acumula também a água clarificada, devido à sedimentação do material argiloso, que é reutilizada no processo do beneficiamento da areia. A amostra da areia em estudo foi retirada das pilhas de estoque de material para comercialização (Foto 4). A empresa processa, em média, 15.000 m³ de material por mês e desta produção 4.500 m³/mês são argilas que decantam na barragem de rejeitos. A areia, pronta para o comércio, apresenta cerca de 0,8% de argila e no máximo 4% de umidade.

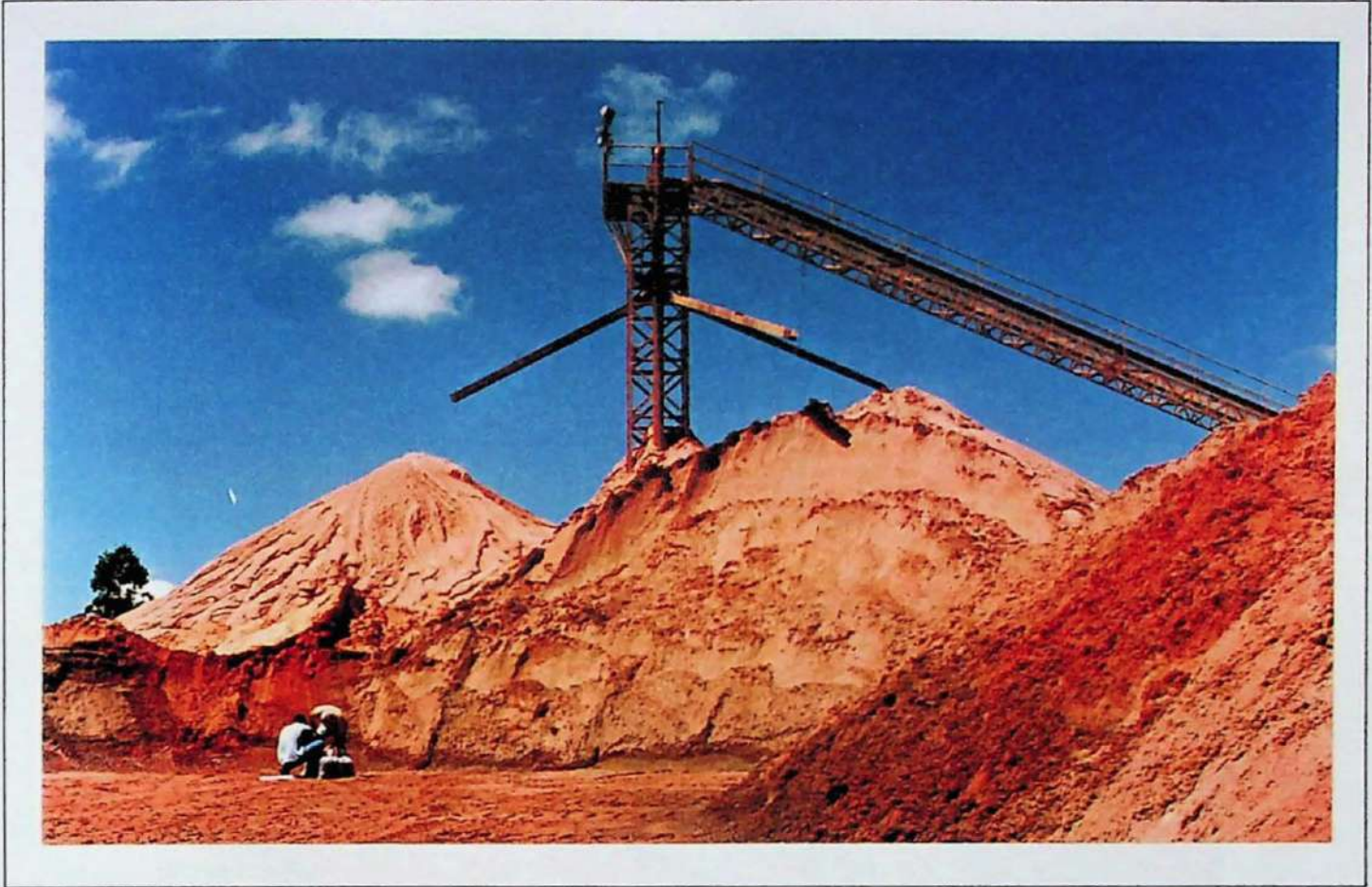


Foto 4. Pilha de material arenoso, para destinação ao mercado, onde se processou a amostragem das areias eólicas. Minercon, Analândia, SP.

♦3) A areia resultante dos processos de alteração de rocha foi amostrada próximo à cidade de Barueri (Figura 1). A região onde foi feita a coleta do material está situada sobre rochas graníticas da Fácies Cantareira, das Suítes Graníticas Sintectônicas do Proterozóico Superior (PSyc), estas de maior representatividade no Pré-Cambriano paulista tanto em área como em número de corpos.

O tipo granito-gnáissico é o mais comum, possuindo granulação fina a média e composição granítica a granodiorítica (IPT, 1981). A Figura 4 mostra as características geológicas do local de amostragem.

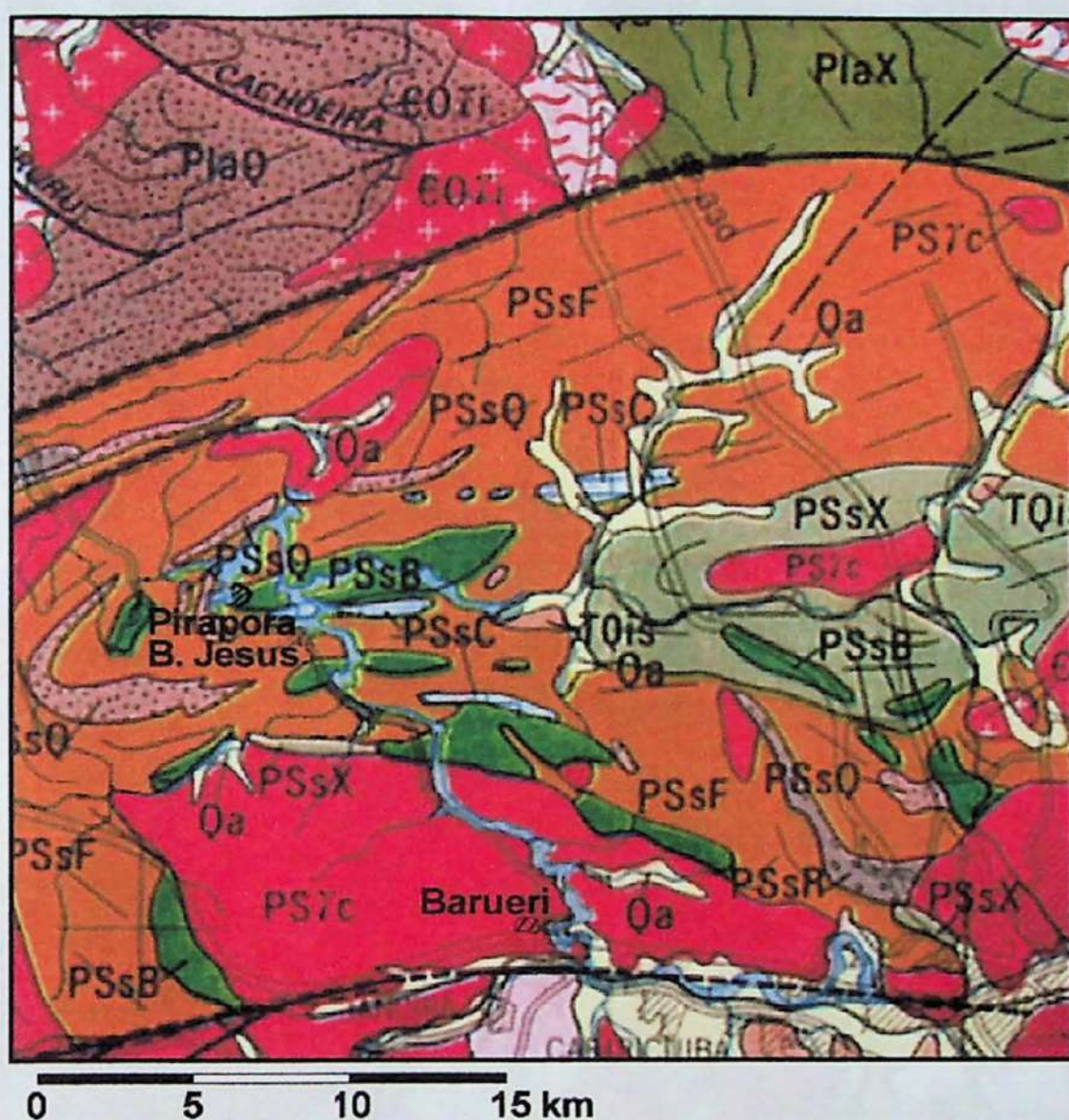


Figura 4. Mapa geológico da região de coleta da areia proveniente de alteração de maciço rochoso (Fonte: IPT, 1981).

A amostragem desta areia foi feita na área da mineração *SARP Extração de Areia S.A.*, cujo acesso se dá pela Rodovia Castelo Branco, km 32, logo após o trevo de Jandira. A exploração deste tipo de areia é feita por desmonte hidráulico de maciço granítico alterado. A polpa que se forma com o grande volume de água utilizado, é coletada em um poço de onde é levada, por bombeamento, para um circuito de esteiras e peneiras que fazem a separação seletiva da areia que é depositada por decantação em silos. Os rejeitos constituídos por argilas, siltes e areias finas, são conduzidos à barragem de contenção de rejeitos. Com a fração arenosa assim separada, são formadas pilhas de acumulação e foi de uma destas pilhas finais que a coleta foi feita.

♦4) A areia resultante da britagem de rocha foi amostrada nas proximidades de Embú (Figura 1), em pedreira de rochas também incluídas nos terrenos de Fácies Cantareira, das Suítes Graníticas Sintectônicas do Proterozóico Superior, **PS_{yc}** (IPT,1981) (Figura 5).

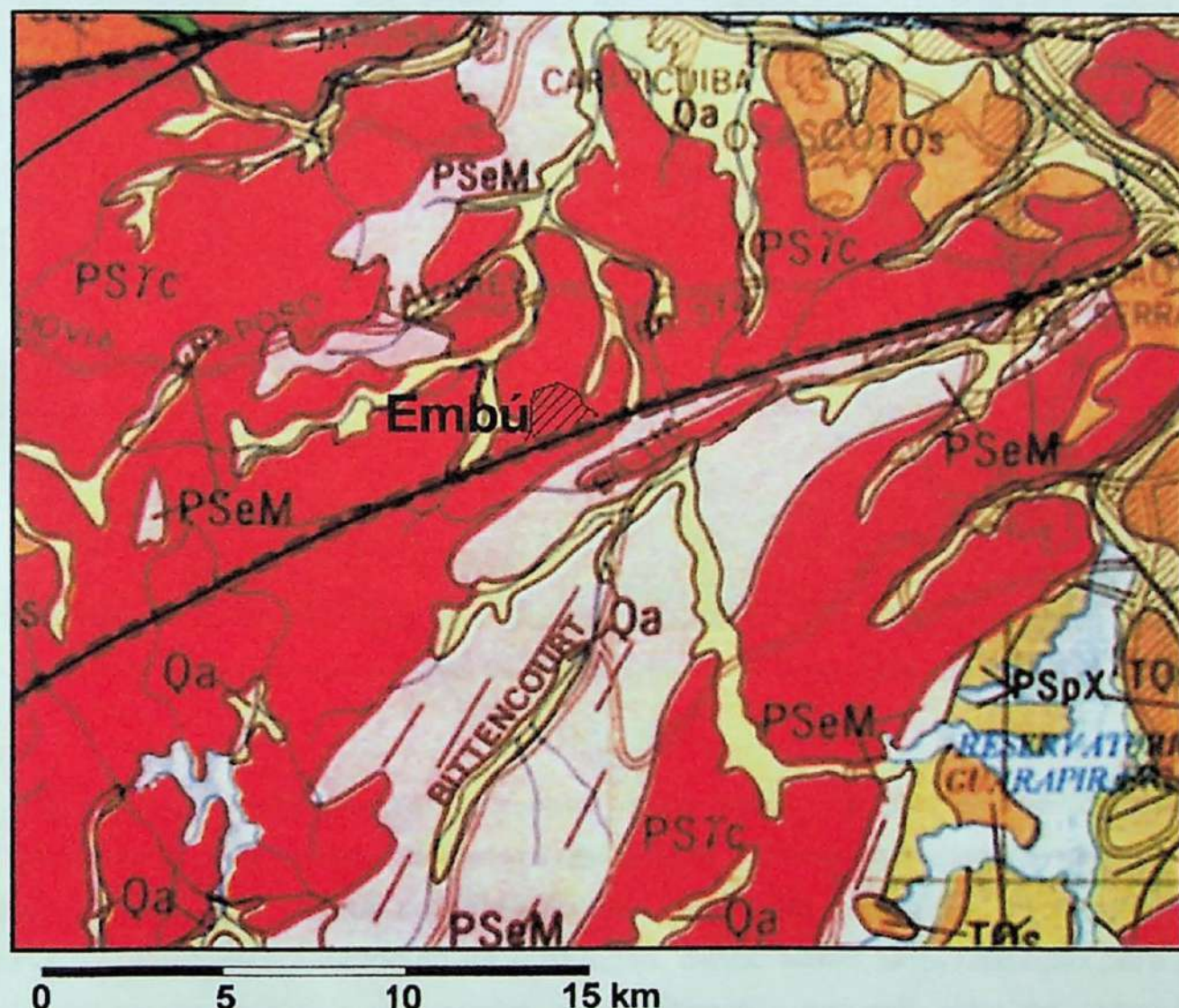


Figura 5. Mapa geológico da região de coleta da areia resultante da britagem de rocha (Fonte: IPT, 1981).

A coleta foi feita na área da mineração Embú S.A. Engenharia e Comércio, na Estrada do DAE, km 30. O granito que aflora no local (Foto 5) é desmontado com o emprego de explosivos para a produção de brita, que representa o produto principal desta empresa mineradora. Neste processo de cominuição da rocha, além da brita, são gerados os chamados finos de pedreira, normalmente apresentando baixo valor agregado, e justamente por isso, considerados como rejeito.



Foto 5. Pedreira implantada sobre rochas graníticas. Embú S. A. Engenharia e Comércio. Embú, SP.

Os trabalhos de cominuição das rochas geram entre 10 e 20% de finos do total de brita produzida, o que torna este material de grande interesse ao presente projeto. Isto porque, se realmente ele for considerado adequado para o preparo de argamassas, passaria de rejeito para subproduto da mineração, dando assim, uma utilização para este grande volume de finos que gera poeira, ocupa espaço e provoca, além do desconforto visual, o assoreamento de drenagens se não for bem administrado (Soares *et al.*, 1996a). A amostra para realização dos ensaios foi coletada nas pilhas de estocagem destes finos (Foto 6).

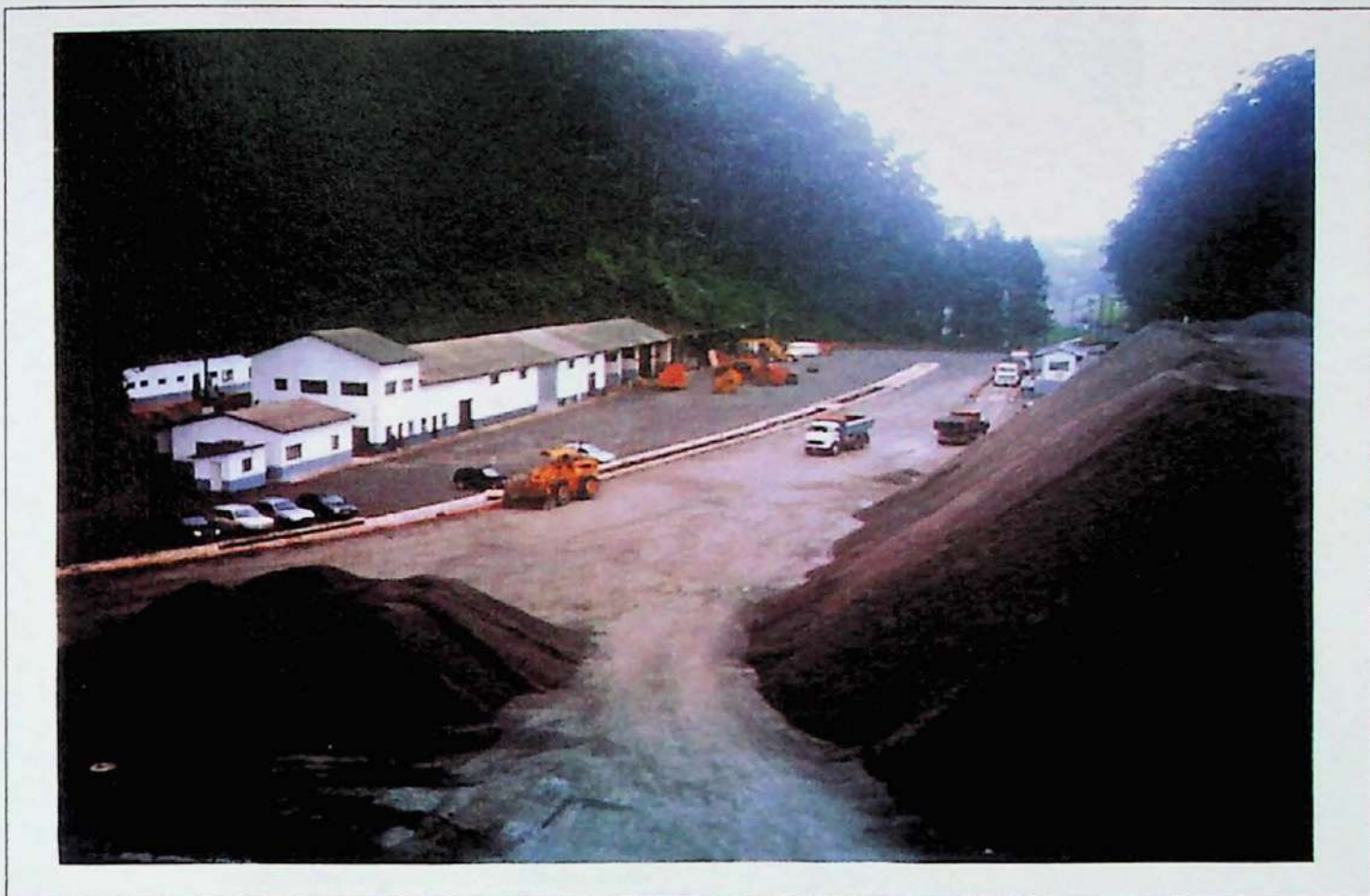


Foto 6. Pilha de amostragem de finos resultante da britagem de rocha. Embú S. A. Engenharia e Comércio. Embú, SP.

♦5) A areia originada da moagem de rocha quartzítica foi amostrada próximo à Pirapora do Bom Jesus (Figura 1). No local de coleta ocorrem quartzitos, quartzitos feldspáticos com metarcósios e metagrauvacas subordinadas, pertencentes ao Grupo São Roque, **PSsQ**, também do Proterozóico Superior paulista (IPT, 1981) (Figura 6).

A areia foi coletada na área da mineração PIROMIX e o acesso à pedreira se dá pela Estrada dos Romeiros, km 56. Na ocasião da coleta, as atividades mineradoras estavam ainda na fase inicial dos processos de extração e moagem da rocha.

O processo de moagem da rocha para a obtenção de areia é feito por uma sequência de britadores e moinhos, ligados por esteiras (Foto 7). As granulometrias de interesse são separadas por peneiramento e formam pilhas de acumulação de material que se destina ao mercado. A amostra coletada foi extraída de uma destas pilhas (Foto 8).

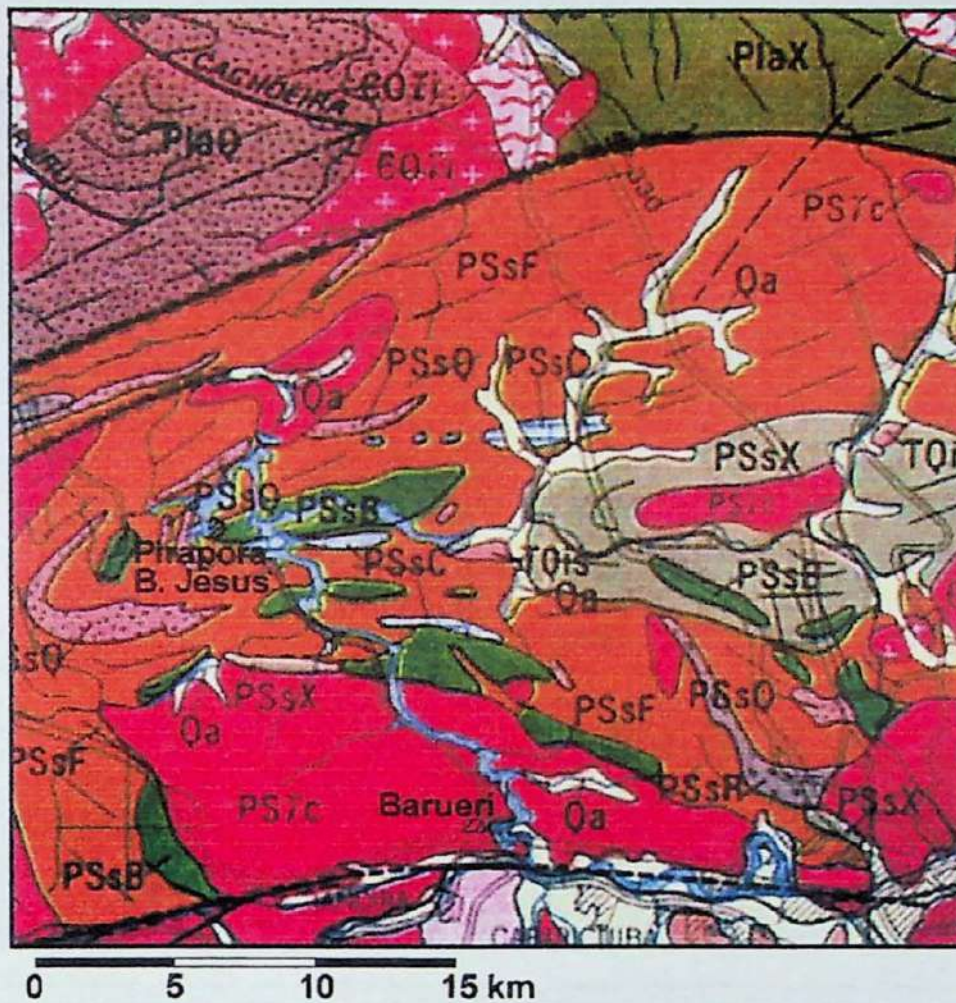


Figura 6. Mapa geológico da região de coleta da areia proveniente da moagem de rocha quartzítica (Fonte: IPT, 1981).

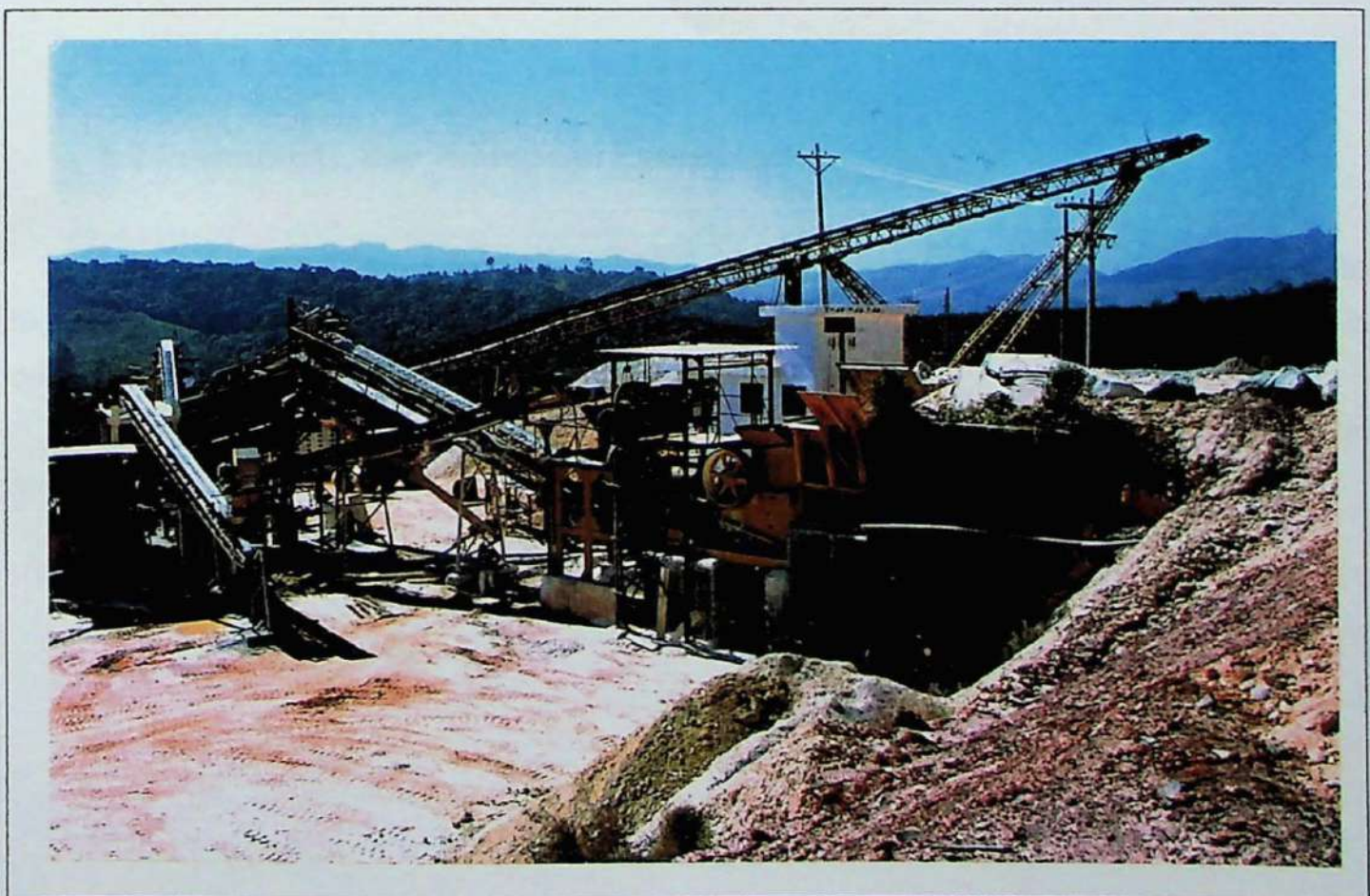


Foto 7. Britadores, moinhos e esteiras da mineração de rocha quartzítica. PIROMIX. Pirapora do Bom Jesus, SP.



Foto 8. Pilha de rocha quartzítica moída, de onde foram coletadas as amostras da empresa mineradora PIROMIX. Pirapora do Bom Jesus, SP.

6.2 Preparação das Areias em Laboratório

Após a coleta das amostras para a realização dos ensaios de caracterização tecnológica programados, as areias passaram por um processo de preparação que compreendeu secagem, desagregação e homogeneização.

A seqüência dos trabalhos desenvolvidos com as amostras de areia, compreendendo sua preparação e ensaios de caracterização está apresentada na Figura 7.

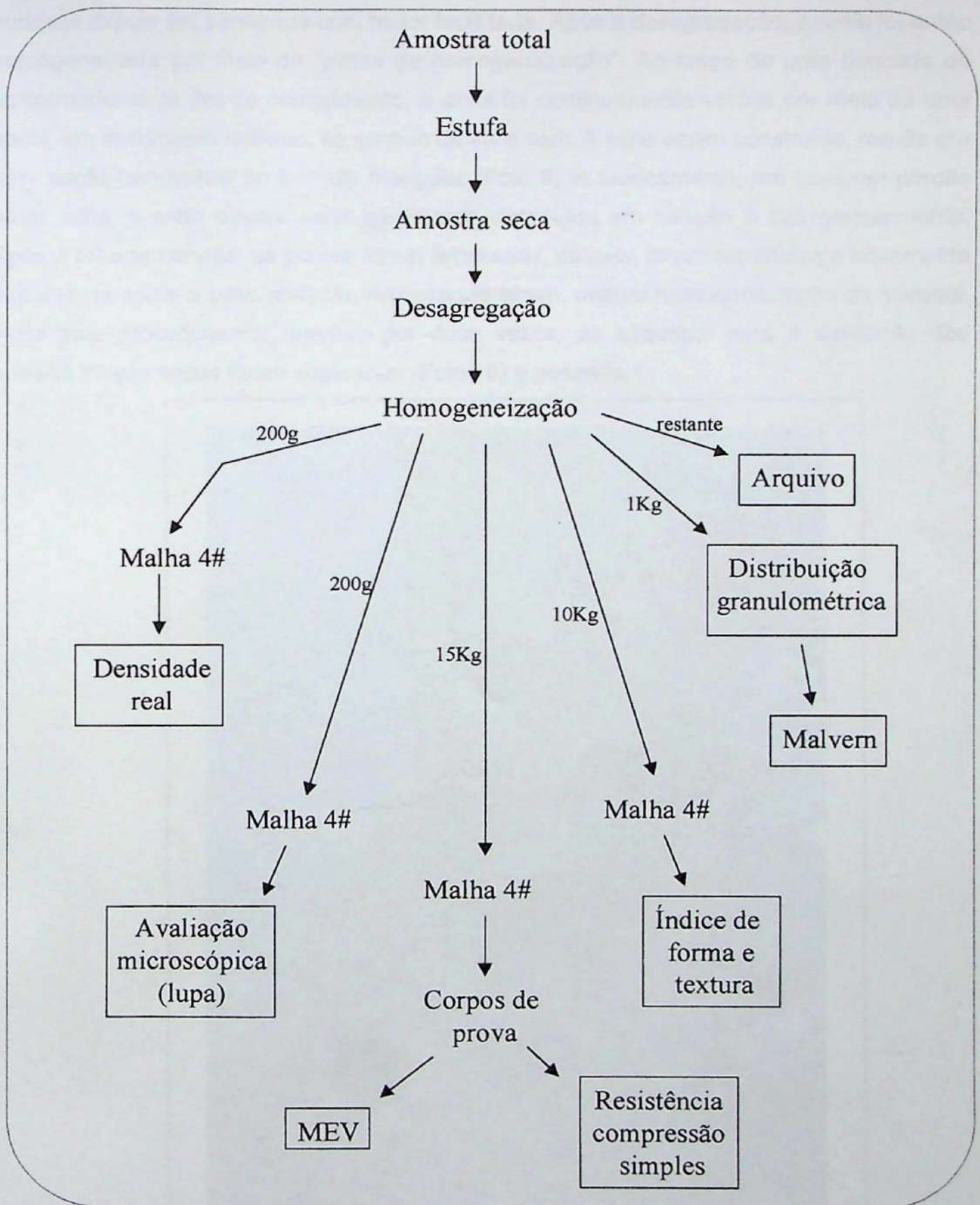


Figura 7. Fluxograma de desenvolvimento dos trabalhos e ensaios laboratoriais realizados.

As amostras foram secas em estufa à 105°C durante 24 horas. A amostra aglomerou-se em "torrões" e, por isso, teve que ser desagregada. Nesta etapa utilizou-se peneira ABNT #20 (0,84mm) onde a amostra foi destorroada manualmente, para que a areia ficasse solta e pudesse depois ser peneirada com maior facilidade. Após a desagregação, a areia foi então homogeneizada por meio de "pilhas de homogeneização". Ao longo de uma bancada de aproximadamente 3m de comprimento, a areia foi continuamente vertida por meio de uma bacia, em movimento retilíneo, no sentido de vai e vem. A pilha assim construída, resulta em uma seção transversal no formato triangular (Foto 9) e, teoricamente, em qualquer porção desta pilha, a areia deverá estar igualmente distribuída em relação à sua granulometria. Após a pilha terminada, as pontas foram retomadas, ou seja, foram recolhidas e novamente espalhadas sobre a pilha restante, provocando assim, melhor homogeneização do material. Após este procedimento, repetido por duas vezes, as alíquotas para a execução dos ensaios programados foram separadas (Foto 10) e pesadas.

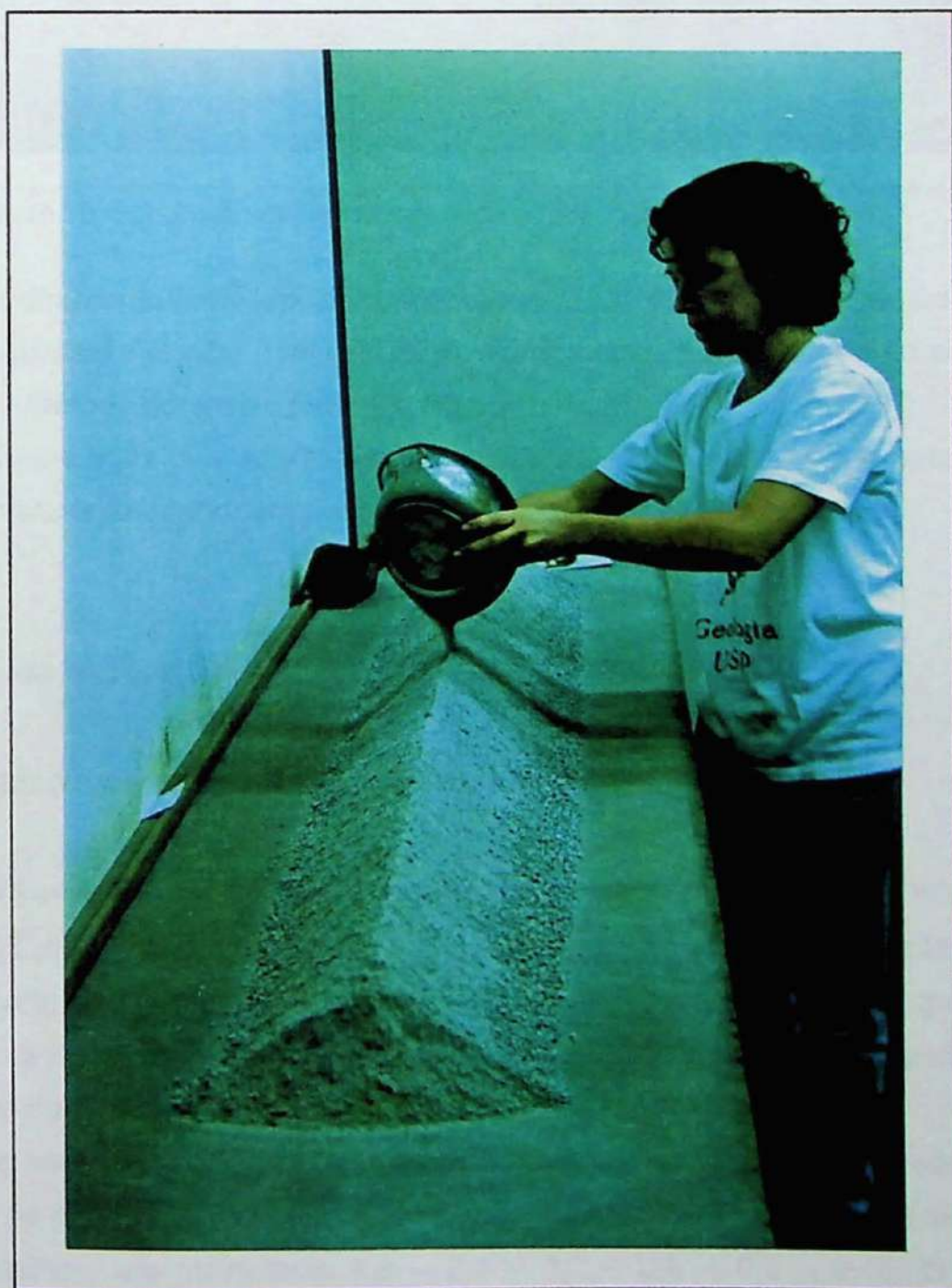


Foto 9. Pilha de homogeneização (amostra: finos de pedreira, coletada em Embú, SP).

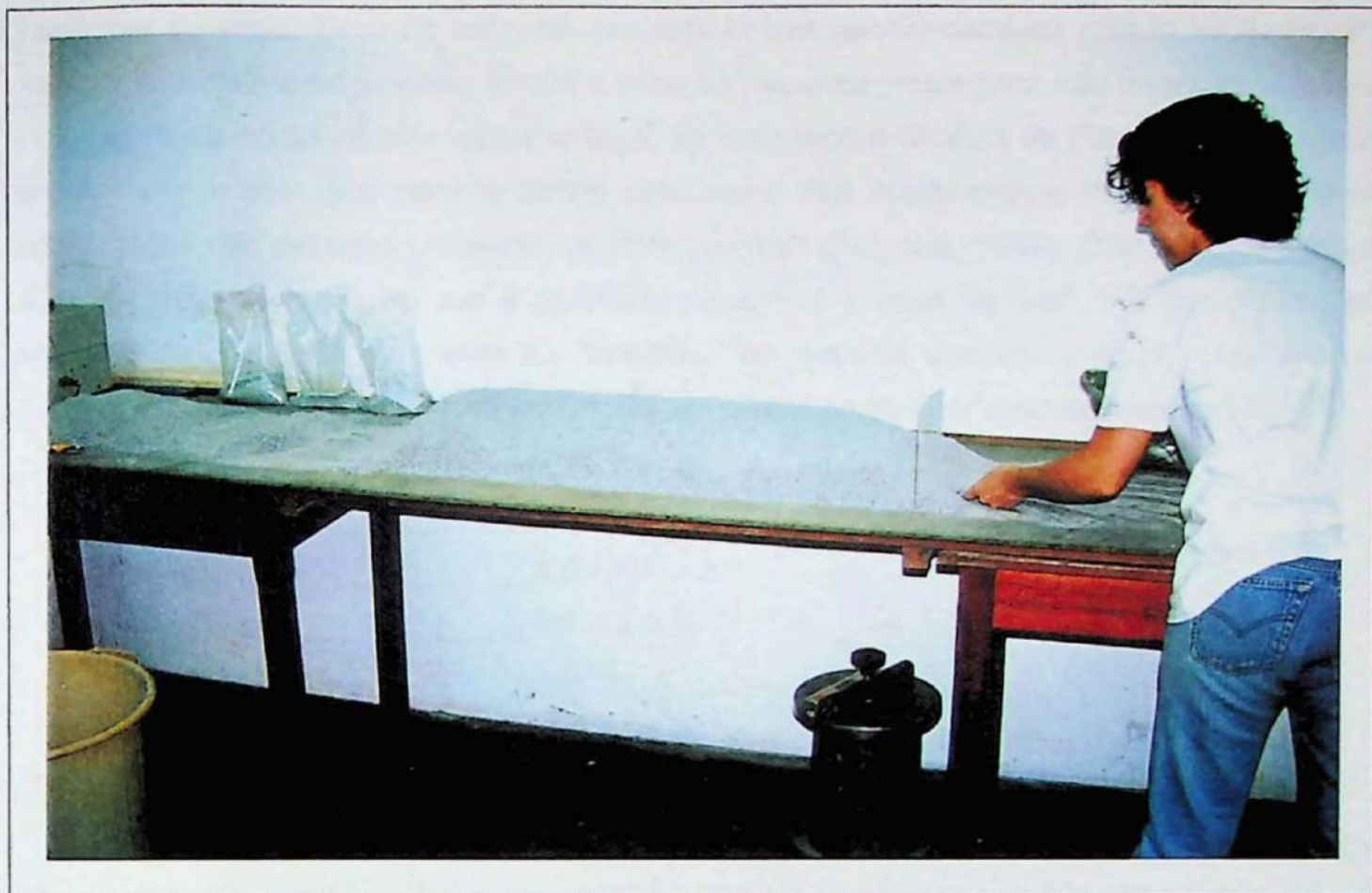


Foto 10. Separação das alíquotas após a homogeneização da areia.

Para o peneiramento feito depois da homogeneização foi utilizada a peneira ABNT #4 ($< 4,8\text{mm}$) e seguiu-se a Norma ABNT (1987b): Agregados – determinação da composição granulométrica – Método de ensaio (NBR-7217).

Em todas as etapas das atividades de caracterização das areias, foi reservada uma quantidade do material utilizado (arquivo) para eventual repetição de ensaios.

6.3 Ensaios Normalizados

6.3.1 *Análise da Distribuição Granulométrica*

Depois das areias terem sido homogeneizadas, as alíquotas foram separadas como já visto no item 6.2 e no fluxograma (Figura 7). De cada tipo de areia, aproximadamente 1kg foi separado para a realização do ensaio de distribuição granulométrica, que foi feito segundo a Norma ABNT (1987b): Agregados – determinação da composição granulométrica – Método de ensaio (NBR-7217).

Com base nesta norma foi adotada a série de peneiras mais adequada aos objetivos deste trabalho. As peneiras utilizadas foram as do sistema Tyler e abrangeram as seguintes aberturas de malhas, em milímetros: 4,8 – 2,4 – 1,2 – 0,6 – 0,3 – 0,15. O tempo de peneiramento adotado foi de 20 minutos e a massa inicial foi, aproximadamente, 500g para

cada tipo de areia. Deve-se salientar que não houve necessidade da massa inicial ser de 1kg como inicialmente previsto, já que a série de peneiras empregada não foi muito extensa.

Com os dados obtidos nesta análise, foi calculado o Módulo de Finura (MF) de cada areia. Este módulo é o número obtido pela soma das porcentagens das frações retidas acumuladas nas peneiras utilizadas, dividido por 100 (Carneiro, 1999). O Módulo de Finura dá uma idéia numérica do que é chamado agregado "grosso ou fino", e é correntemente utilizado na classificação prática do "tamanho" do material (Ioshimoto *et al.*, s/d). Assim, conforme Selmo, 1986 *apud* Carneiro, 1999, as areias podem ser classificadas como:

Areias grossas _____ MF > 3,0

Areias médias _____ 3,0 > MF > 2,0

Areias finas _____ MF < 2,0

6.3.2 Determinação da Resistência à Compressão Simples

Os ensaios para análise da resistência à compressão simples realizados sobre corpos de prova de argamassa preparados com os diferentes tipos de areias foram realizados no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Engenharia Civil, Agrupamento de Materiais de Construção Civil, Laboratório de Concreto e em conformidade com as Normas determinadas pela ABNT.

A quantidade de cada areia empregada neste ensaio foi de aproximadamente 15kg. De início, foi determinada a massa unitária de cada um dos tipos de areias (Tabela 1), segundo a Norma ABNT (1982b): Agregado em estado solto - determinação da massa unitária (NBR-7251).

Tabela 1. Massa unitária das areias estudadas.

Tipo de areia	Massa unitária (kg/dm ³)
Britagem de rocha	1,50
Eólica	1,47
Leito de rio	1,36
Moagem de quartzito	1,36
Desmonte hidráulico	1,34

O traço adotado para as argamassas foi 1:6 (cimento:areia) em volume. Este traço é utilizado quando o único aglomerante da argamassa é o cimento (Ioshimoto, 1988), caso desta pesquisa, e é utilizado para argamassas tanto em interiores como exteriores, em pisos térreos e pisos sobre lajes (Tile Council of America Inc., 1988 *apud* Fiorito, 1994) reforçando assim, a não especificação de uso das argamassas elaboradas. O cimento utilizado foi da marca Votoran, tipo CP-II-E-32, com teores dos respectivos componentes utilizados na sua elaboração e exigências químicas, apresentados na Tabela 2. Estas especificações foram

obtidas através da Norma ABNT (1991): Cimento Portland Composto – Especificação (NBR-11578).

Tabela 2. Teores dos componentes e exigências químicas do cimento utilizado na elaboração das argamassas.

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)			
		Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
CP II-E	32	94-56	6-34	-	0-10
Exigências químicas					
Determinações químicas			Limites (% da massa)		
Resíduo insolúvel			≤2,5		
Perda ao fogo			≤6,5		
Óxido de magnésio (MgO)			≤6,5		
Trióxido de enxofre (SO ₃)			≤4,0		
Anidrido carbônico (CO ₂)			≤5,0		

A transformação do traço em volume no seu equivalente em massa, é simples, bastando conhecer-se as massas unitárias dos materiais (Ioshimoto, 1988). A porção referente à areia do traço, em volume, é multiplicada pela massa unitária de cada tipo, obtendo-se assim os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Traço das argamassas ensaiadas.

Tipo de areia	Traço (em volume) c:a	Massa unitária (kg/dm ³)	Traço (em massa) c:a
Britagem de rocha	1:6	1,50	1:9
Eólica	1:6	1,47	1:8,82
Leito de rio	1:6	1,36	1:8,16
Moagem de quartzito	1:6	1,36	1:8,16
Desmonte hidráulico	1:6	1,34	1:8,04

Na determinação do teor de água das argamassas foi estipulada a quantidade de 1,4kg de areia, suficiente para a obtenção do volume de argamassa necessário para a realização do ensaio de determinação de consistência. Para se calcular a quantidade de cimento (em massa) correspondente, dividiu-se a massa da areia pela porção de areia do traço em massa, já calculada. A Tabela 4 apresenta as massas de areia e traços envolvidos para determinação da massa de cimento a ser empregada para cada argamassa.

Tabela 4. Massas de cimento para determinação do teor de água.

Tipo de areia	Massa de areia (kg)	Traço (em massa) c:a	Massa de cimento (kg)
Britagem de rocha	1,4	1:9	0,155
Eólica	1,4	1:8,82	0,159
Leito de rio	1,4	1:8,16	0,172
Moagem de quartzito	1,4	1:8,16	0,172
Desmonte hidráulico	1,4	1:8,04	0,174

Com as massas de areia e cimento determinadas, calculou-se então, a quantidade de água que seria utilizada. Para isso, foi determinada a consistência da argamassa, usando-se a "flow table" (Foto 11), seguindo a Norma ABNT (1995a): Argamassa para assentamento em paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência – Padrão (NBR-13276).

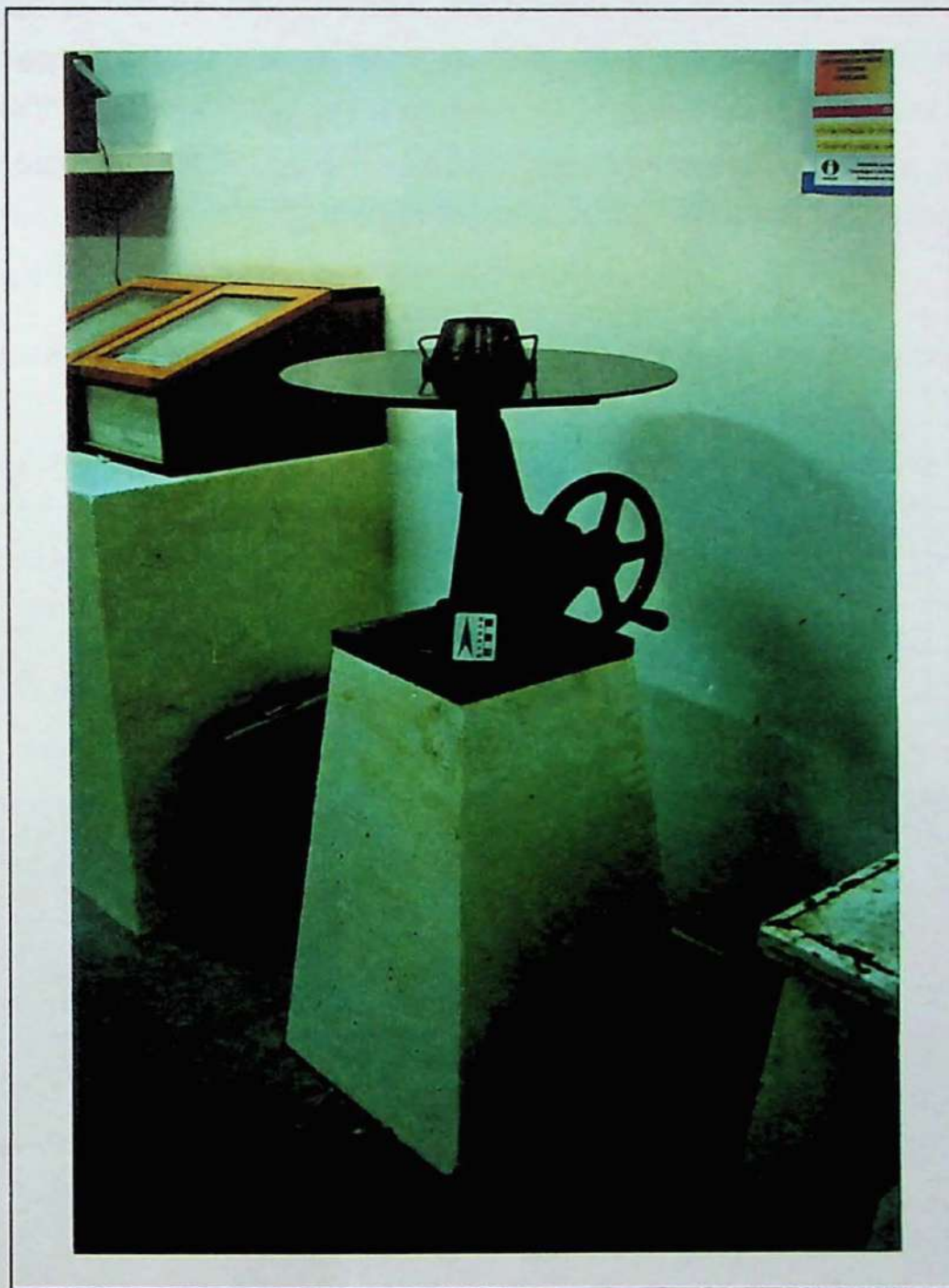


Foto 11. Equipamento para determinação do índice de consistência da argamassa. ("Flow table").

Para a realização do ensaio de determinação do índice de consistência, inicialmente, na superfície da "flow table", passa-se uma fina camada de óleo e em seguida, apóia-se o cone para moldagem da argamassa. O cone é preenchido com argamassa em três camadas distintas (a primeira recebe 15 golpes, a segunda 10 e a terceira 5, todos aplicados com soquete metálico). Após esta operação, a superfície do cone é rasada com régua metálica

para retirar o excesso de argamassa (Foto 12). Retira-se o cone (Foto 13) e então começam a ser dados os golpes na mesa ("flow table") através de um giro completo da manivela que provoca a sua elevação seguida de queda livre. Cada ensaio compreendeu a aplicação de 30 golpes em 30 segundos. A consistência (chamada "flow") necessária e alcançada para este tipo de massa foi de $255\text{mm} \pm 10$ de diâmetro do disco de massa resultante após aplicação dos golpes (Foto 14). Esta consistência, considerada ideal, foi alcançada fazendo-se várias tentativas de dosagem da massa de argamassa, alterando-se a quantidade de água à medida que o disco na "flow table" passava ou não alcançava o diâmetro determinado (Norma ABNT (1995a): Argamassa para assentamento em paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência – Padrão (NBR-13276)). A quantidade de água determinada nestes ensaios e usada para cada argamassa está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Massas do aglomerante, do agregado e água para obtenção do índice de consistência.

Tipo de areia	Massa de cimento (kg)	Massa de areia (kg)	Água (kg)	Diâmetro do disco (mm)
Britagem de rocha	0,155	1,4	0,235	245
Eólica	0,159	1,4	0,280	251
Leito de rio	0,172	1,4	0,335	248
Moagem de quartzito	0,172	1,4	0,320	256
Desmonte hidráulico	0,174	1,4	0,330	253



Foto 12. Determinação da consistência da argamassa. Preenchimento do cone para execução de ensaio na "flow table".



Foto 13. Determinação da consistência da argamassa, logo após retirada do cone.

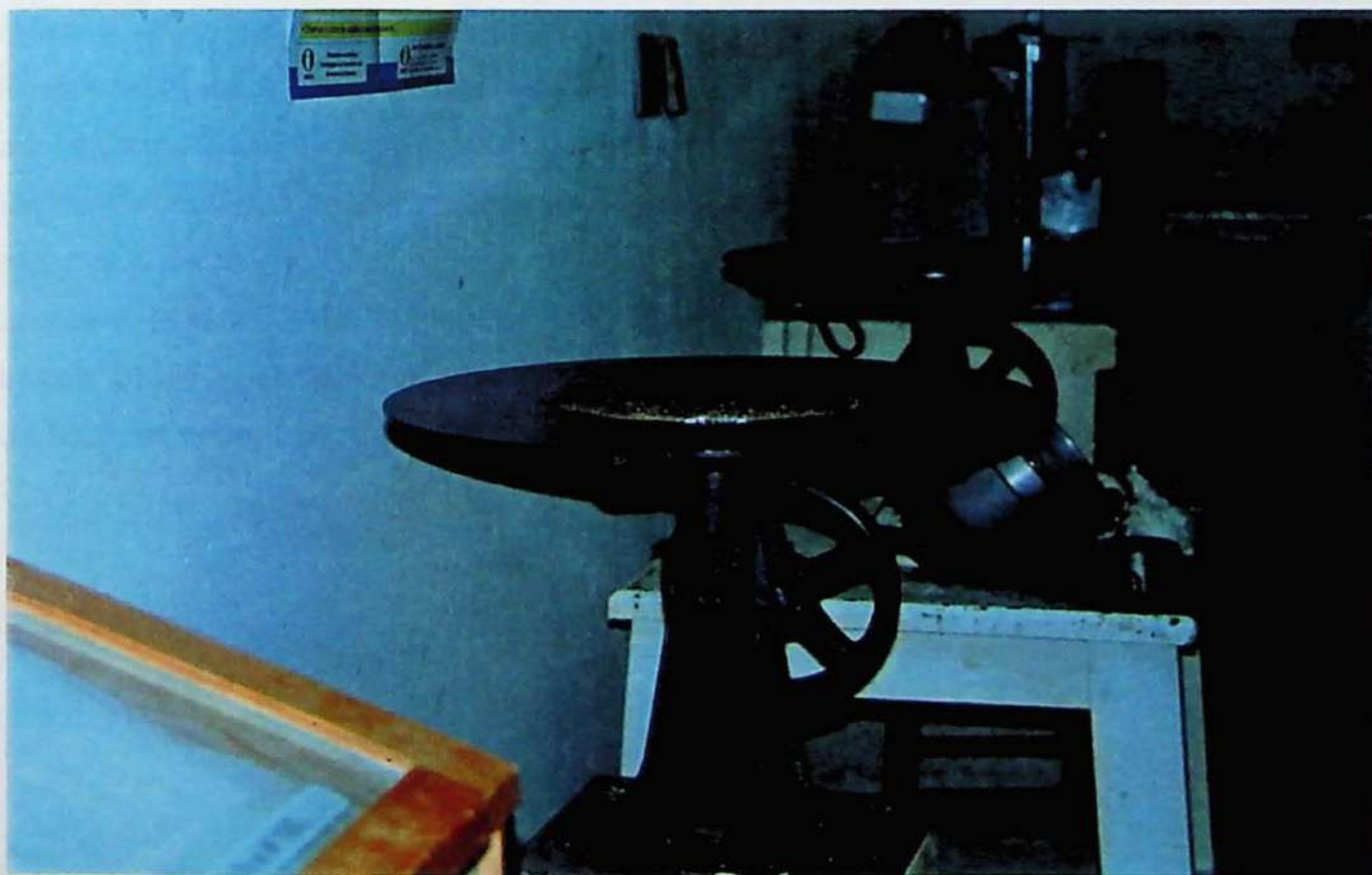


Foto 14. Determinação da consistência da argamassa. Disco de argamassa após 30 golpes realizados na "flow table".

Na moldagem dos corpos de prova para a execução dos ensaios de resistência à compressão simples, foram utilizados 2,2kg de cada tipo de areia. Deve-se mencionar que para esta etapa manteve-se a proporcionalidade entre as quantidades de aglomerante, agregado e água. As massas correspondentes estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Massas do aglomerante, do agregado e da água utilizadas para a elaboração dos corpos de prova.

Tipo de areia	Massa de cimento (kg)	Massa de areia (kg)	Água (kg)
Britagem de rocha	0,244	2,2	0,371
Eólica	0,250	2,2	0,440
Leito de rio	0,270	2,2	0,527
Moagem de quartzito	0,270	2,2	0,502
Desmante hidráulico	0,274	2,2	0,521

O processo de moldagem e o ensaio de resistência à compressão simples foram regidos pela Norma ABNT (1995b): Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à compressão simples - Método de Ensaio (NBR-13279).

Na moldagem dos corpos de prova, os moldes, com dimensões de 5cm de diâmetro interno e altura de 10cm, recebem internamente uma fina camada de óleo e, em seguida, são preenchidos em 4 camadas distintas sendo cada uma golpeada 30 vezes com um soquete metálico (o mesmo empregado para preencher o cone da “flow table”) (Foto 15). Os moldes são rasados para a retirada do excesso de massa (Foto 16) e, então, cobertos com uma placa de vidro (Foto 17). O objetivo é manter a umidade da massa de argamassa durante a execução da moldagem dos corpos de prova antes de serem encaminhados à câmara úmida e também preservar a face superior dos mesmos, durante as 24 horas iniciais que passam nesta câmara, quando pode ocorrer gotejamento de água sobre estas faces.



Foto 15. Moldagem dos corpos de prova. Preenchimento dos moldes com argamassa e compactação com soquete metálico.



Foto 16. Moldagem dos corpos de prova. Retirada do excesso de massa dos moldes para uniformidade da superfície dos corpos de prova.



Foto 17. Moldagem dos corpos de prova. Colocação das placas de vidro sobre cada molde para preservação de umidade e regularidade da face superior dos corpos de prova.

Após a identificação dos moldes, estes foram levados à câmara úmida onde permaneceram 24 horas quando se dá o início da cura (endurecimento). A câmara úmida é mantida a 22°C e saturada em água. Após este período, os corpos de prova foram desenformados e levados aos tanques, onde ficaram submersos (Foto 18) durante os períodos predeterminados de cura: 7, 28 e 90 dias, quando são realizados os ensaios de resistência à compressão simples.

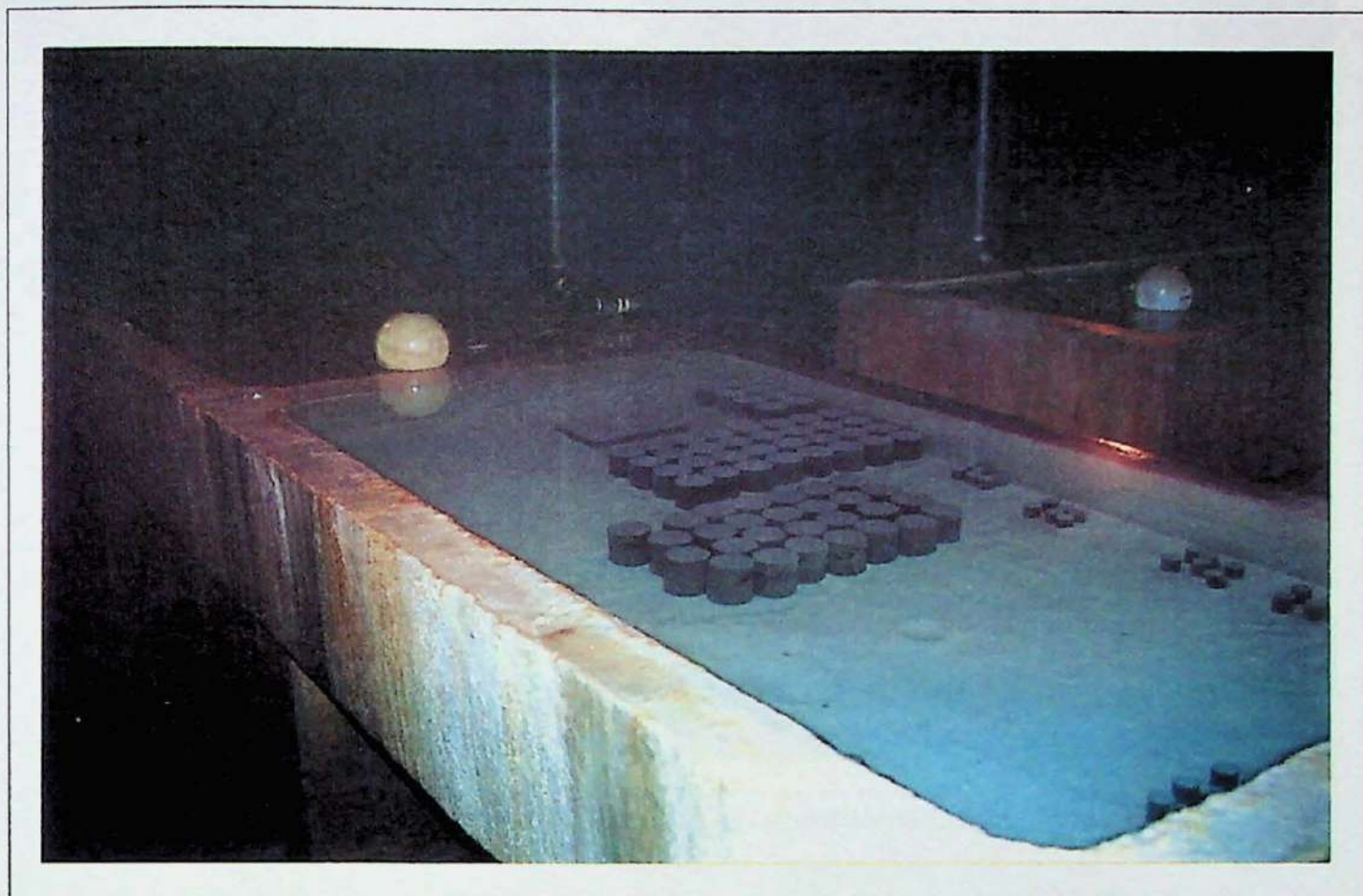


Foto 18. Tanque onde podem ser observados os corpos de prova submersos para cura durante os períodos predeterminados de 7, 28 e 90 dias.

Para cada tipo de argamassa elaborada, ou seja, para cada tipo de areia estudada foram preparados 12 corpos de prova, totalizando assim 60 corpos. Para cada argamassa foram executados ensaios utilizando-se 4 corpos de prova para cada intervalo de cura: 7, 28 e 90 dias.

Depois de serem retirados da câmara úmida, os corpos de prova são capeados com uma camada de enxofre fundido nas duas extremidades, realizando assim o nivelamento dos mesmos (Foto 19). Isto é feito para que as forças recebidas no rompimento sejam igualmente distribuídas na superfície do corpo. O enxofre é usado pela rapidez com que se funde e se solidifica.

O ensaio de resistência à compressão simples foi executado empregando-se prensa hidráulica (Fotos 20 e 21) com velocidade de carregamento de 0,2 a 0,3 MPa/s.

Não foram elaborados corpos de prova com areia Normal Brasileira, pois esta já foi tema de muitos ensaios anteriores e como trata-se de uma areia padronizada, os resultados dos ensaios não sofrem variações significativas. Este trabalho utilizou os resultados destes ensaios para comparação de dados.



Foto 19. Corpos de prova já capeados com enxofre em suas extremidades.

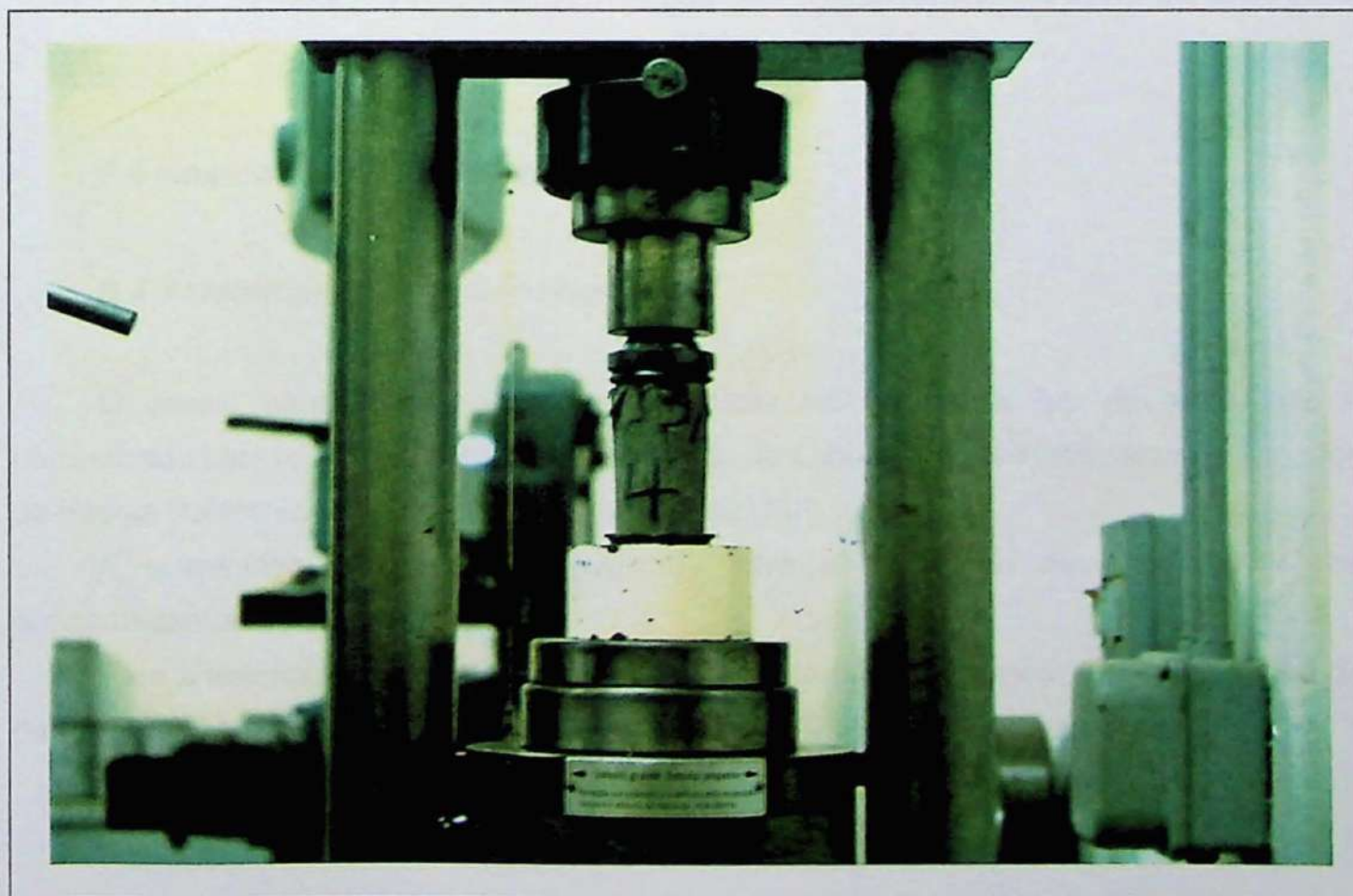


Foto 20. Ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova após 7 dias de cura.

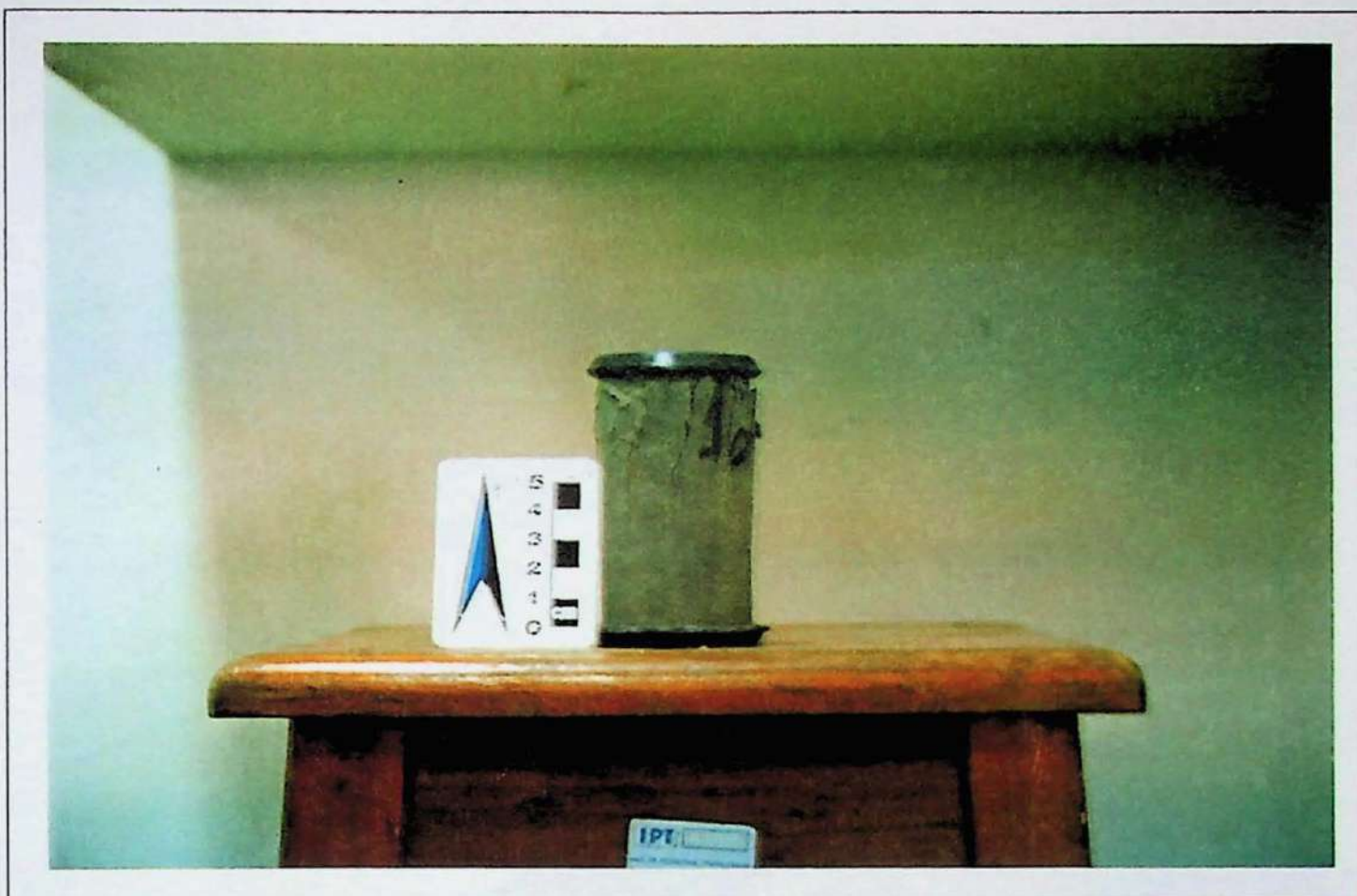


Foto 21. Ensaio de resistência à compressão simples. Detalhe de fissuras após a ruptura do corpo de prova.

6.4 Ensaios Não Normatizados

6.4.1 Determinação da Densidade Real

O ensaio para determinação de densidade real de cada tipo de areia, não é normatizado pela ABNT. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Tratamento de Minérios da Escola Politécnica de Engenharia de Minas, da USP.

A quantidade de cada areia utilizada para a realização deste ensaio foi de aproximadamente 200g.

Para a determinação da densidade real foi usado um piquinômetro de 50ml, folhas de papel, pincel, álcool, água e balança eletrônica (Foto 22).



Foto 22. Ensaio para determinação de densidade real. Materiais utilizados.

Procedimento: com a quantidade de 200g foi feita uma nova pilha de homogeneização, agora sobre folha de papel para que possa ser dividida igualmente em porções de cerca de 25g para que o ensaio seja repetido 3 vezes. Com cada porção assim separada repete-se a mesma seqüência: primeiro pesa-se o piquinômetro com tampa e vazio e previamente seco em estufa à temperatura ao redor de 100°C por 10 minutos. Depois coloca-se nele a porção de areia já reservada e novamente o recipiente é pesado. Em seguida, completa-se o volume do recipiente com água, com cuidado para que o capilar da tampa do piquinômetro fique completo com água; em seguida, o recipiente é pesado (Foto 23). Por último, toda a quantidade de areia e água é retirada do piquinômetro que depois de bem lavado, é totalmente preenchido com água pura e pesado.



Foto 23. Ensaio para determinação de densidade real. Piquinômetro sendo pesado com amostra de areia e água.

Com estes resultados, aplica-se a seguinte fórmula:

$$Dens. = \frac{B - A}{(D - A) - (C - B)} \quad (1)$$

Onde:

A = peso do recipiente vazio e seco, em gramas

B = peso do recipiente + amostra, em gramas

C = peso do recipiente + amostra + água, em gramas

D = peso do recipiente + água, em gramas

Obs.: Os números utilizados para o cálculo de densidade real são o resultado da média de 3 ensaios que são feitos para cada areia.

6.4.2 Determinação de Índice de Forma e Textura dos Grãos

Este ensaio, também não normatizado pela ABNT, foi realizado no Laboratório da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, exatamente conforme método da American Society for Testing and Materials ASTM – D 3398-81 Index of aggregate particle shape and texture.

A quantidade de cada areia para a realização deste ensaio foi de aproximadamente 10kg. Para a determinação do “índice de forma e textura superficial” dos grãos foram utilizados os seguintes materiais: bandejas de alumínio, pá de pedreiro, pano ou estopa para limpeza do material, uma régua de metal de 30cm e o material próprio para o ensaio que constitui-se de um bastão de ferro de 900g e um recipiente cilíndrico, também de ferro, pesando 7.720g e apresentando um volume de 3.243,3 cm³ (Foto 24).



Foto 24. Ensaio para determinação do índice de forma e textura dos grãos. Materiais utilizados.

Procedimento: a quantidade de areia determinada para este ensaio é disposta em uma bandeja. Com a pá de pedreiro, a areia vai sendo posta no cilindro, em 3 camadas distintas, cuja altura está determinada na parte interna do mesmo por um traço. Em cada camada lançada (1/3 do cilindro), o material é socado por meio de 10 golpes com o bastão que é deixado cair em queda livre de uma altura de aproximadamente 5cm da camada em questão (os golpes têm que ser bem distribuídos por toda a área da camada de areia). Isto é feito para as 3 camadas e por último o cilindro é rasado com a régua e pesado (Fotos 25 e 26).



Foto 25. Ensaio para a determinação do índice de forma e textura dos grãos. Cilindro sendo rasado para retirada do excesso de areia.



Foto 26. Ensaio para a determinação do índice de forma e textura dos grãos. Pesagem do cilindro, depois de rasado.

Em seguida, o processo é repetido, aplicando-se 50 golpes para cada camada. Como este ensaio não é destrutivo, a areia utilizada neste ensaio pôde ser reutilizada e portanto, para cada tipo de areia, o ensaio foi repetido 3 vezes.

Assim, com os pesos e com as densidades das areias já calculadas, bem como o peso e o volume do recipiente já determinados, aplicam-se as seguintes equações:

$$V_{10}(\%) = 1 - \frac{M_{10}}{Dens. \times V_R} \times 100 \quad (2)$$

$$V_{50}(\%) = 1 - \frac{M_{50}}{Dens. \times V_R} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

M_{10} = massa da areia a 10 golpes (já descontado o peso do recipiente), em gramas

M_{50} = massa da areia a 50 golpes (já descontado o peso do recipiente), em gramas

Dens. = densidade real do tipo de areia (g/cm^3)

V_R = volume do recipiente (cm^3)

V_{10} = volume de vazios dos agregados compactados a 10 golpes por camada (%)

V_{50} = volume de vazios dos agregados compactados a 50 golpes por camada (%)

Depois de calculados os volumes de vazios em porcentagem, calcula-se o índice de forma e textura superficial utilizando-se a seguinte fórmula:

$$I = 1,25 \times V_{10} - 0,25 \times V_{50} - 32 \quad (4)$$

6.4.3 Avaliação Microscópica Óptica

A avaliação por microscopia óptica foi realizada no Laboratório de Petrografia Sedimentar do Instituto de Geociências, USP, através de lupa que possibilita aumento variável entre 6 e 66 vezes. A lupa da marca Zeiss, modelo STEMI SV11, é acoplada a um microcomputador e uma câmera para captar as imagens obtidas.

Devido ao aumento fornecido pela lupa, apenas três frações granulométricas foram escolhidas para esta avaliação: #28 (0,6mm), #48 (0,3mm) e #100 (0,15mm). Os grãos das frações maiores que #28 mostraram-se muito grandes, mesmo usando-se o menor aumento da lupa, não sendo, portanto, material que proporcionasse um bom resultado óptico.

Para tal avaliação, usou-se os seguintes materiais: Placa de Petri, agulha, lenços de papel e álcool para eventual limpeza da Placa de Petri.

Para cada fração, foram analisados, no mínimo, 100 grãos de areia. Esta quantidade foi considerada ideal para os objetivos a serem alcançados no presente estudo.

Nesta avaliação óptica, o objetivo principal foi a observação da morfologia dos grãos, ou seja, o grau de arredondamento, a esfericidade, assim como a observação da textura superficial.

Procedimento: os grãos foram dispostos na Placa de Petri aleatoriamente e, com a ajuda da agulha presa a uma caneta, foram separados para que não houvesse nenhum contato entre eles. Com isso, a imagem captada pelo microcomputador foi tratada sem problemas, pois se dois grãos permanecem em contato, são considerados como um único grão.

A imagem observada na lupa foi fotografada e para cada imagem, de cada malha estudada, foi reproduzida a mesma, considerando-se apenas o contorno dos grãos (chamada "imagem binário").

O grau de arredondamento dos grãos foi fornecido pelo programa "QWIN", do equipamento da marca *Leica*, representado por um intervalo de 0,1 a 1,0, sendo que o grão que apresenta grau de arredondamento 0,1 é o mais anguloso e o que apresenta arredondamento 1,0 é o mais arredondado. O arredondamento calculado pelo programa QWIN, é função do perímetro e da área de cada grão (Leica QWIN, 1996).

Assim, a observação óptica dos grãos dos diferentes tipos de areias, em conjunto com a classificação numérica do arredondamento fornecida pelo programa QWIN utilizado em laboratório, foi utilizada para complementação a classificação nominal do grau de arredondamento segundo Russell & Taylor (1937), como mostra a Figura 8.

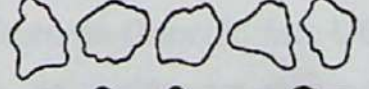
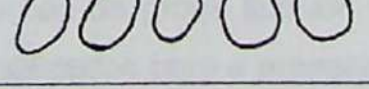
Russell & Taylor		Leica QWIN
	Angular	0,1 e 0,2
	Subangular	0,3 e 0,4
	Subarredondado	0,5 e 0,6
	Arredondado	0,7 e 0,8
	Bem arredondado	0,9 e 1,0

Figura 8. Avaliação conjunta da determinação do grau de arredondamento.

Nesta observação por lupa, também foi analisada, visualmente, a esfericidade dos grãos, ou seja, o quão próximo de uma esfera está a forma dos grãos de areia. Por ser um método subjetivo, a classificação pode apresentar variações de pessoa para pessoa. Foram considerados grãos de alta esfericidade aqueles que mostraram relação entre eixos aproximada de 1:1 e de baixa esfericidade, os grãos com relação entre eixos aproximada de 1:2. As relações intermediárias entre estes dois limites também foram identificadas como: média-alta, média e média-baixa esfericidade.

6.4.4 Determinação da Granulometria por Difração Laser

O ensaio para determinação da granulometria por difração laser foi realizado no Laboratório de Caracterização Tecnológica, do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Segundo Valery Junior *et al.*, 1990 *apud* Mendes, 1999, a análise granulométrica de partículas finas e ultrafinas pode ser realizada através de várias metodologias e equipamentos. A técnica utilizada neste trabalho foi a Técnica de Espalhamento de Luz (Difração de Raios Laser).

Esta análise granulométrica, realizada para os diferentes tipos de areias, utilizou-se do "Analisador de Partículas Malvern 3600 Ec", equipamento que possui boa precisão para partículas de até $1,2\mu\text{m}$ (Agrawal, *et al.*, 1991), constituído por uma unidade óptica de medida e um computador que processa os dados, fornecendo a distribuição de tamanhos de partículas sólidas na faixa de 0,5 a $564\mu\text{m}$ em meio líquido (água deionizada).

As amostras utilizadas para esta análise de granulometria foram aquelas resultantes da classificação granulométrica, representantes da fração inferior à malha #100 ($< 0,15\text{mm}$).

6.4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura de lâminas obtidas dos corpos de prova de argamassa foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura, Instituto de Geociências, USP.

Na etapa da moldagem dos corpos de prova, para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples, foi elaborado um corpo de prova a mais para cada tipo de areia. Estes corpos de prova ficaram em cura em câmara úmida por 90 dias e após este período foram utilizados para a preparação de lâminas delgadas.

Estas lâminas constituíram-se no material de estudo para este ensaio, passando antes, por uma rápida análise ao Microscópio Petrográfico proporcionando assim, um conhecimento prévio das argamassas em avaliação.

Um dos objetivos desta análise foi observar o comportamento do cimento em relação ao grão de areia, ou seja, se a massa de cimento envolveu por completo os grãos arenosos e se era visível o aparecimento de porosidade ou zonas de fraqueza. Esta avaliação também teve o objetivo de verificar a formação de neominerais originados pela reação entre álcalis ativos disponíveis do cimento e minerais de alguns agregados, por exemplo, minerais do grupo da sílica, como a opala (Kihara, 1986).

Várias imagens foram obtidas nesta etapa, e em algumas delas foram realizadas análises químicas, ainda ao Microscópio Eletrônico de Varredura, do material fotografado.

7. RESULTADOS OBTIDOS

7.1 Ensaios Normalizados

Os resultados dos ensaios normalizados realizados sobre as areias e a argamassas com elas elaboradas são apresentados a seguir.

7.1.1 Análise da Distribuição Granulométrica

A distribuição granulométrica de cada tipo de areia apresentou comportamento distinto com relação à série de peneiras, evidenciado pelas diferentes massas retidas em cada malha da série empregada neste ensaio.

Avaliou-se ainda, com base nos dados de distribuição granulométrica dos materiais estudados, a possibilidade da determinação do cálculo do Coeficiente de Uniformidade, através do Método de Allen-Hazem (Carneiro & Cincotto, 1997). Este coeficiente é a razão entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10% das frações passantes tomados da curva granulométrica. Entretanto, tal método não se mostra conclusivo, já que a razão entre os intervalos das aberturas de malha utilizado é igual a dois. Em outras palavras, o intervalo entre malhas é muito grande, resultando em valores pouco precisos, fato este constatado também pelos mesmos autores.

Vale ressaltar, que toda a fração menor que #100, ($< 0,15\text{mm}$) foi considerada o fundo da seqüência de peneiras e, portanto, tal intervalo granulométrico não forneceu dados com relação às frações mais finas. Este fato pode ser observado nas curvas granulométricas de todos os tipos de areia. Este material fino, para que fosse analisado em maior detalhe, foi levado à análise por Difração Laser como já mencionado, e os resultados serão abordados mais adiante.

A partir dos valores das massas retidas em cada malha da seqüência de peneiras, elaborou-se a distribuição granulométrica de cada areia. Os valores desta distribuição,

especificamente com a porcentagem das massas passantes acumuladas, serviram à elaboração da curva granulométrica. Ainda, com a somatória das porcentagens das massas retidas acumuladas em cada peneira, foi determinado o Módulo de Finura.

Ressalta-se que a porção da curva representada por linha vermelha nos gráficos seguintes teve sua caracterização granulométrica determinada através de Difração por Raios Laser (7.2.4).

♦ Areia de britagem de rocha

A primeira areia analisada foi a resultante da britagem de rocha, que apresentou massas retidas em todas as peneiras. A Tabela 7 mostra sua distribuição granulométrica e a Figura 9 sua respectiva curva granulométrica.

Tabela 7. Distribuição granulométrica da areia resultante da britagem de rocha.

Mesh Tyler	abertura (mm)	peso retido (g)	% peso	% retida acumulada	% passante acumulada
#4	4,8	9	1,7	1,7	98,3
#8	2,4	87,4	17,0	18,7	81,3
#14	1,2	107,5	20,9	39,6	60,4
#28	0,6	83,9	16,3	55,9	44,1
#48	0,3	55,4	10,8	66,7	33,3
#100	0,15	53,7	10,4	77,1	22,9
#100- (fundo)	0,01	117,6	22,9	100,0	0,0
SOMA		514,5	100,0	MF=2,60	

peso inicial: 514,4g

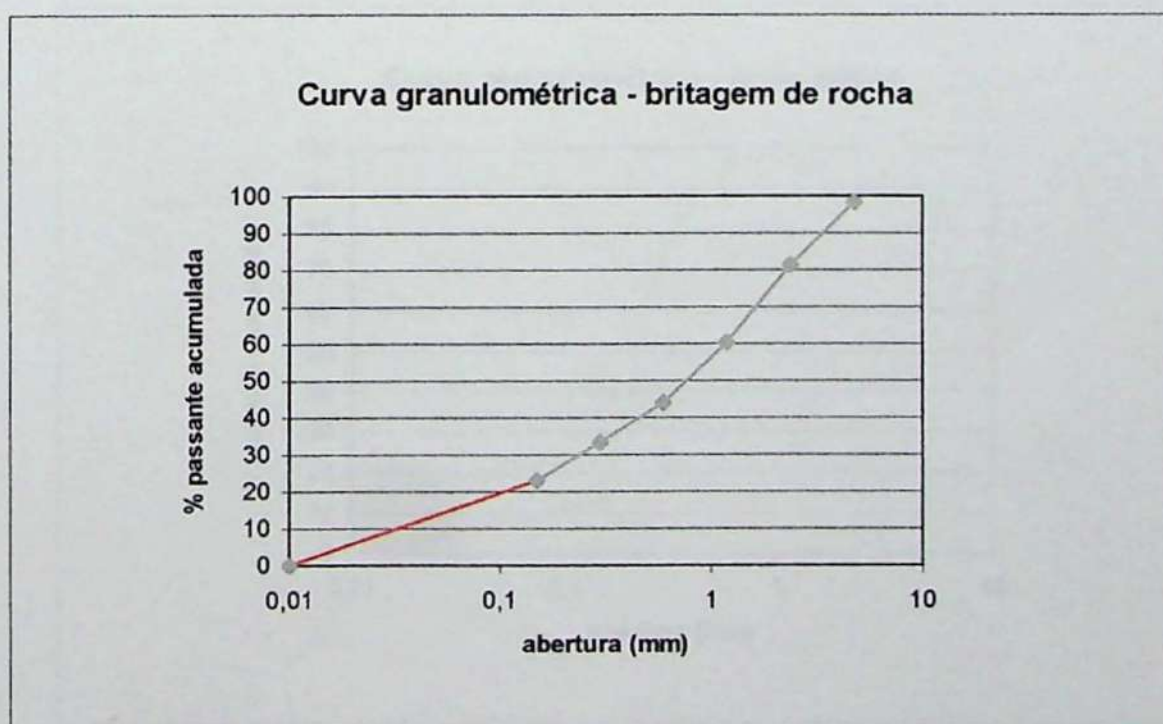


Figura 9. Curva granulométrica da areia resultante da britagem de rocha.

Os resultados apresentados mostram a areia de britagem de rocha presente em todas as peneiras, evidenciando boa distribuição granulométrica. O Módulo de Finura, igual a 2,60, classifica este material como areia média.

A curva granulométrica apresenta, de modo geral, crescimento gradativo e, nos últimos 20 pontos percentuais, ausência de dados como já mencionado.

♦ Areia eólica

Em seguida foi analisada a areia eólica que mostrou distribuição desigual entre o material retido nas diferentes peneiras utilizadas, comportamento este, diferenciado dos demais materiais analisados. A Tabela 8 mostra sua distribuição granulométrica e a Figura 10 sua respectiva curva granulométrica.

Tabela 8. Distribuição granulométrica da areia eólica.

Mesh Tyler	abertura (mm)	peso retido (g)	% peso	% retida acumulada	% passante acumulada
#4	4,8	0	0	0	100,0
#8	2,4	0	0	0	100,0
#14	1,2	1,2	0,2	0,2	99,8
#28	0,6	15	2,8	3,1	96,9
#48	0,3	98,9	18,7	21,8	78,2
#100	0,15	347,8	65,8	87,6	12,4
#100- (fundo)	0,01	65,3	12,4	100,0	0,0
SOMA		528,2	100,0	MF=1,13	

peso inicial: 528,2g

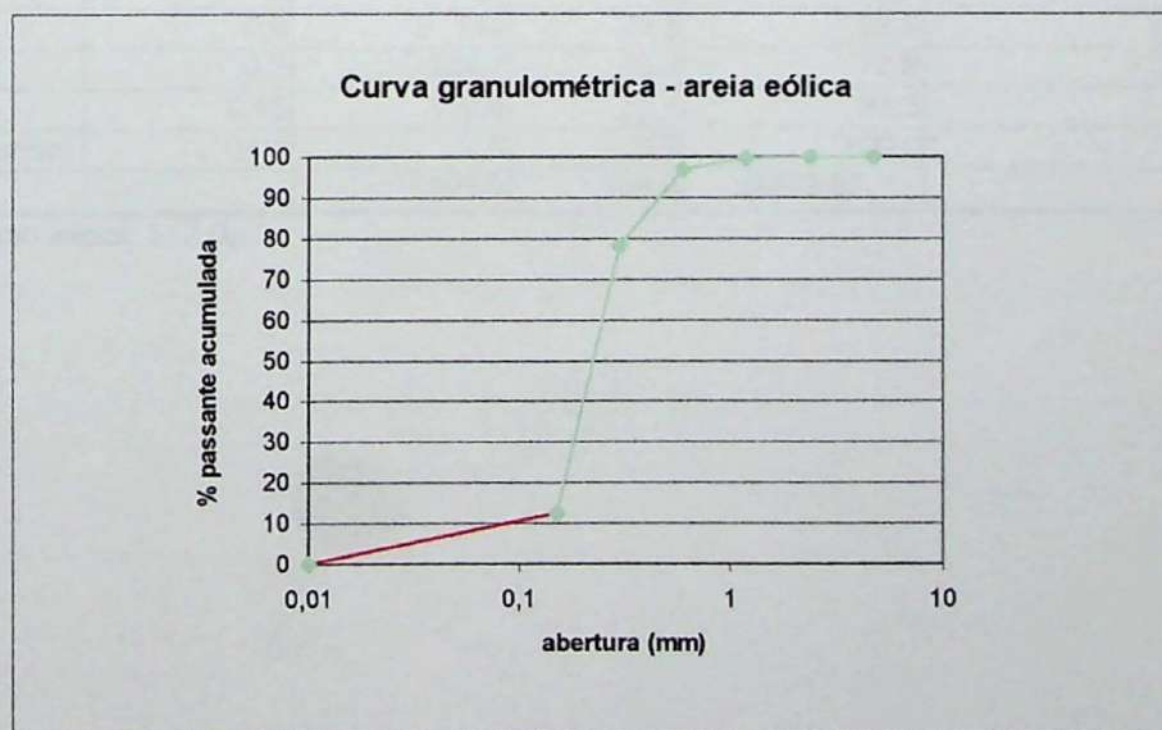


Figura 10. Curva granulométrica da areia eólica.

Pode ser observado nos dados mostrados na Tabela 8 e Figura 10 grande concentração de material retido nas peneiras de malha #48 e # 100 (0,3 e 0,15mm, respectivamente), cerca de 85% de toda a massa inicial, mostrando assim, uma boa seleção de grãos e, portanto, uma má distribuição granulométrica. Ressalta-se também a ausência de material maior que 2,4mm, das peneiras #4 e #8 (4,8 e 2,4mm, respectivamente). O Módulo de Finura, igual a 1,13, classifica este material como areia fina.

A curva granulométrica mostra três segmentos distintos: o primeiro com três pontos, representando 100% de material passante nas três primeiras peneiras da série, o segundo com queda abrupta da curva (grande quantidade de material acumulado nas aberturas de 0,3 e 0,15mm) e o terceiro, nos últimos 10%, com ausência de dados pois representa o fundo da série.

♦ Areia de leito de rio

A areia de leito de rio foi a terceira a ser analisada. Apresentou, em linhas gerais, uma distribuição granulométrica boa, com material retido em todas as peneiras da série. A Tabela 9 apresenta os dados desta distribuição e na Figura 11, em seguida, é mostrada a curva granulométrica.

Tabela 9. Distribuição granulométrica da areia de leito de rio.

Mesh Tyler	abertura (mm)	Peso retido (g)	% peso	% retida acumulada	% passante acumulada
#4	4,8	0,8	0,1	0,1	99,9
#8	2,4	7,8	1,3	1,4	98,6
#14	1,2	27,4	4,6	6,0	94,0
#28	0,6	141	23,8	29,9	70,1
#48	0,3	254,7	43,0	72,9	27,1
#100	0,15	138,6	23,4	96,3	3,7
#100- (fundo)	0,01	21,6	3,6	100,0	0,0
SOMA		591,9	100,0	MF=2,07	

* peso inicial: 592,0g

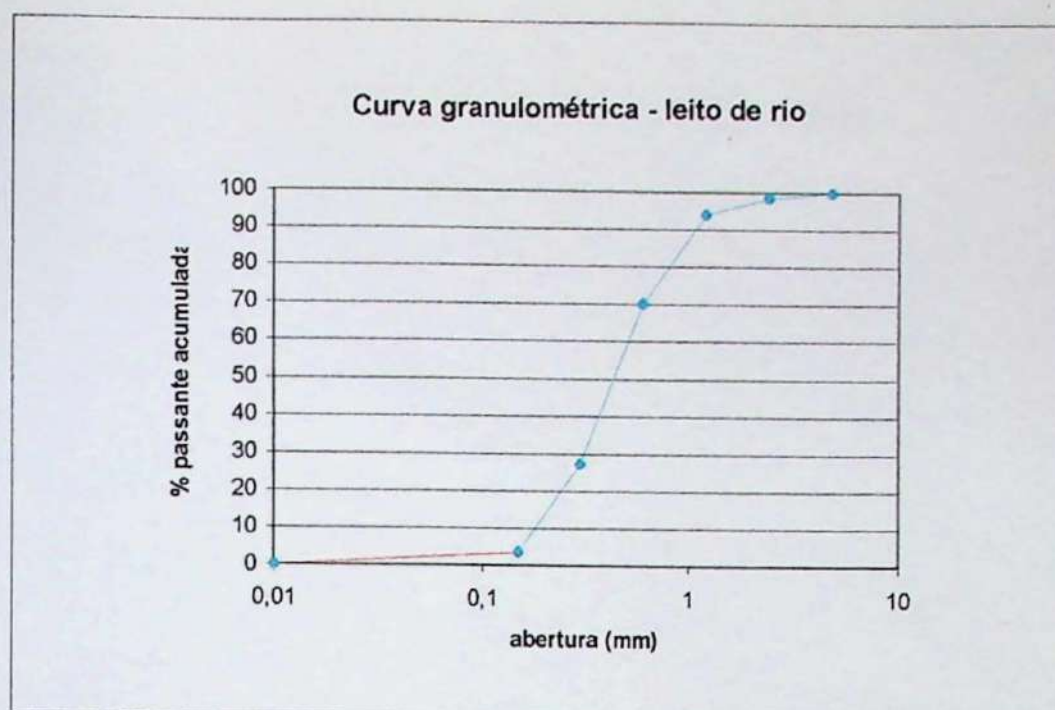


Figura 11. Curva granulométrica da areia de leito de rio.

Os dados mostrados na Tabela 9 e Figura 11 chamam a atenção pelas porcentagens referentes à massa passante acumulada. Nas três primeiras peneiras (#4, #8 e #14) as porcentagens são maiores que 90%, mostrando com isso, pouca representação do material referente a estas aberturas se comparado com as peneiras seguintes que atingem cerca de 93% de material passante. O Módulo de Finura, igual a 2,07, classifica o material como areia média. A curva granulométrica apresenta pontos distribuídos de maneira mais homogênea, apesar do primeiro e do segundo ponto (peneiras #4 e #8) estarem bem próximos de 100% de material passante acumulado, como já citado acima. O segmento da curva com ausência de dados representa apenas 3,7% do material passante acumulado.

♦ Areia de moagem de quartzito

A areia resultante da moagem de quartzito foi o quarto tipo de areia analisado. Apresentou boa distribuição granulométrica, com material retido em todas as peneiras da série. A Tabela 10 apresenta os dados desta distribuição e a Figura 12, em seguida, mostra a curva granulométrica.

Tabela 10. Distribuição granulométrica da areia de moagem de quartzito.

Mesh Tyler	abertura (mm)	peso retido (g)	% peso	% retida acumulada	% passante acumulada
#4	4,8	1,4	0,3	0,3	99,7
#8	2,4	31,0	6,6	6,9	93,1
#14	1,2	45,4	9,6	16,5	83,5
#28	0,6	111,3	23,6	40,1	59,9
#48	0,3	153,9	32,6	72,8	27,2
#100	0,15	102,3	21,7	94,5	5,5
#100- (fundo)	0,01	26,1	5,5	100,0	0,0
SOMA		471,4	100,0	MF=2,31	

* peso inicial: 472,7g

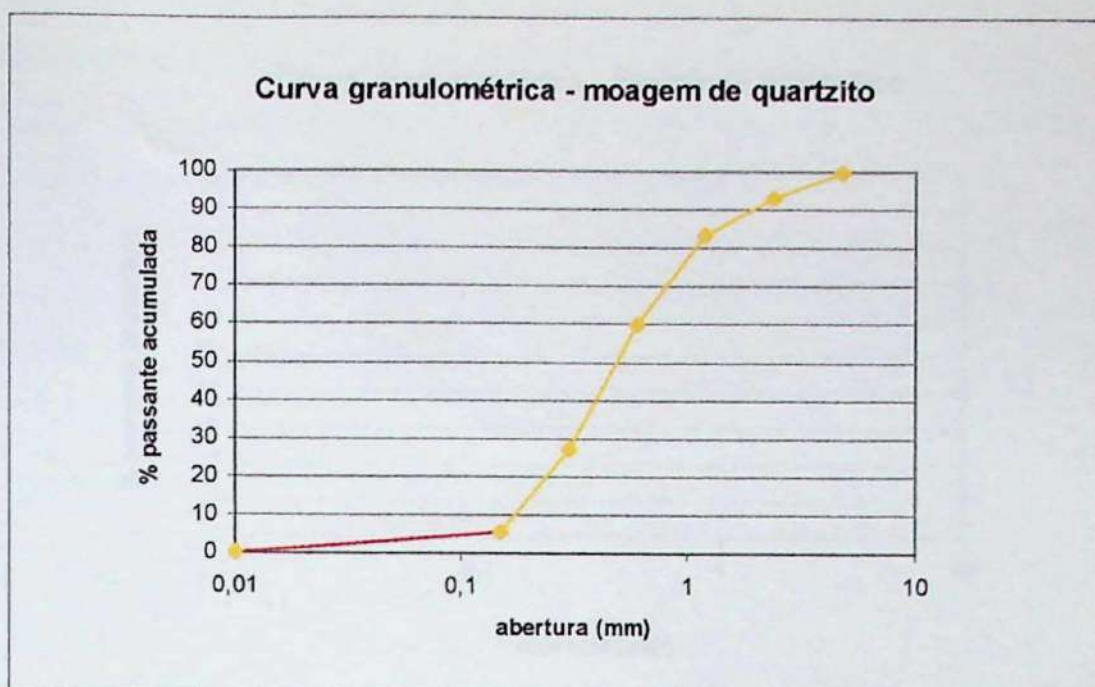


Figura 12. Curva granulométrica da areia resultante da moagem de quartzito

Observa-se na Tabela 9, boa representação do material em todas as peneiras da série utilizada, exceto na primeira peneira, malha #4 (< 4,8mm), que mostra 99,7% de material passante acumulado. O restante das malhas mostra homogeneidade nas porcentagens do mesmo material, e o segmento com ausência de dados é representado por somente 5,5% do passante acumulado. O Módulo de Finura, igual a 2,31, classifica o material como areia média. O crescimento da curva granulométrica não é abrupto, com uma boa distribuição de pontos, tendo somente o último segmento um pouco destoante.

♦ Areia de desmonte hidráulico

A última areia analisada foi a de desmonte hidráulico, que assim como a anterior, também mostrou-se bem distribuída com relação à porcentagem de material passante acumulado. A Tabela 11 apresenta os dados da sua distribuição granulométrica e a Figura 13, em seguida, mostra sua curva granulométrica.

Tabela 11. Distribuição granulométrica da areia de desmonte hidráulico.

Mesh Tyler	abertura (mm)	peso retido (g)	% peso	% retida acumulada	% passante acumulada
#4	4,8	3,3	0,7	0,7	99,3
#8	2,4	45	8,9	9,6	90,4
#14	1,2	118,4	23,4	33,0	67,0
#28	0,6	158,5	31,4	64,4	35,6
#48	0,3	97,2	19,2	83,6	16,4
#100	0,15	49,9	9,9	93,5	6,5
#100- (fundo)	0,01	33	6,5	100,0	0,0
SOMA		505,3	100,0	MF= 2,85	

* peso inicial: 505,5g

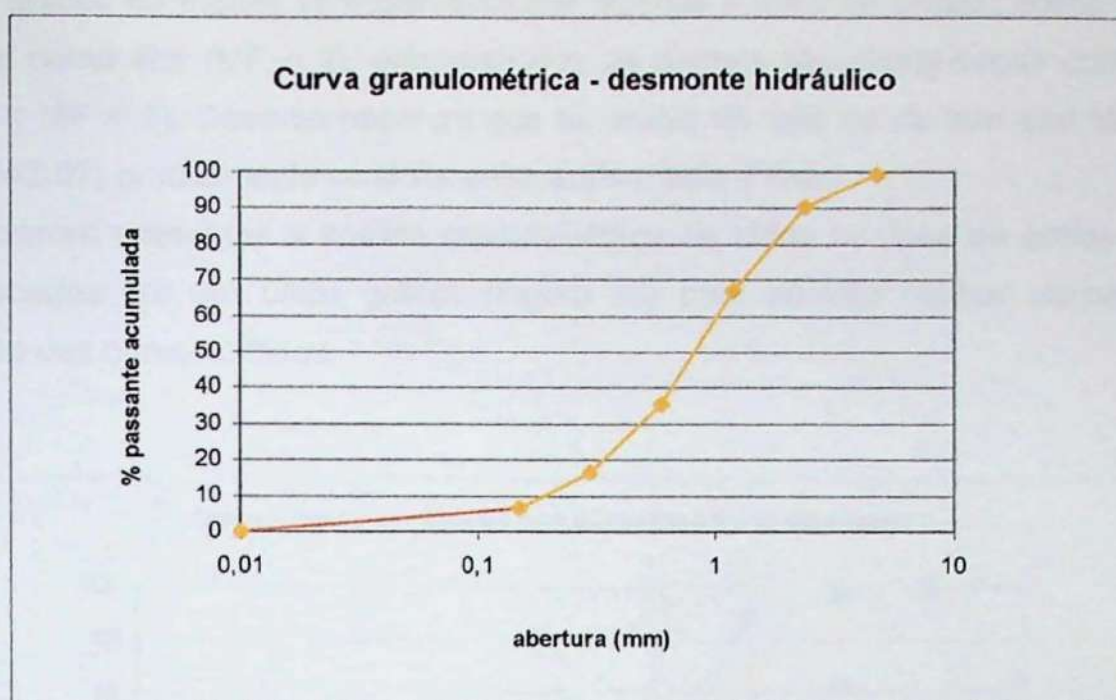


Figura 13. Curva granulométrica da areia de desmonte hidráulico

A distribuição granulométrica da areia de desmonte hidráulico é bastante homogênea, também com representação de material em todas as peneiras. A primeira peneira da série, de malha #4 (4,8mm), é a que apresenta maior quantidade de material passante acumulado, ou seja, a com menor quantidade de material retido (apenas 0,7%). O restante das malhas mostra-se equilibrado com relação ao material retido. O Módulo de Finura, igual a 2,85, classifica este material como areia média.

A curva granulométrica (Figura 13), em resposta aos dados da distribuição (Tabela 11), mostra equilíbrio em seu desenvolvimento e só não representa uma curva ideal pois o segmento, abaixo dos 6%, não fornece dados suficientes para maior precisão.

A Figura 14 mostra gráfico comparativo dos valores dos Módulos de Finura obtidos para as diferentes areias analisadas.

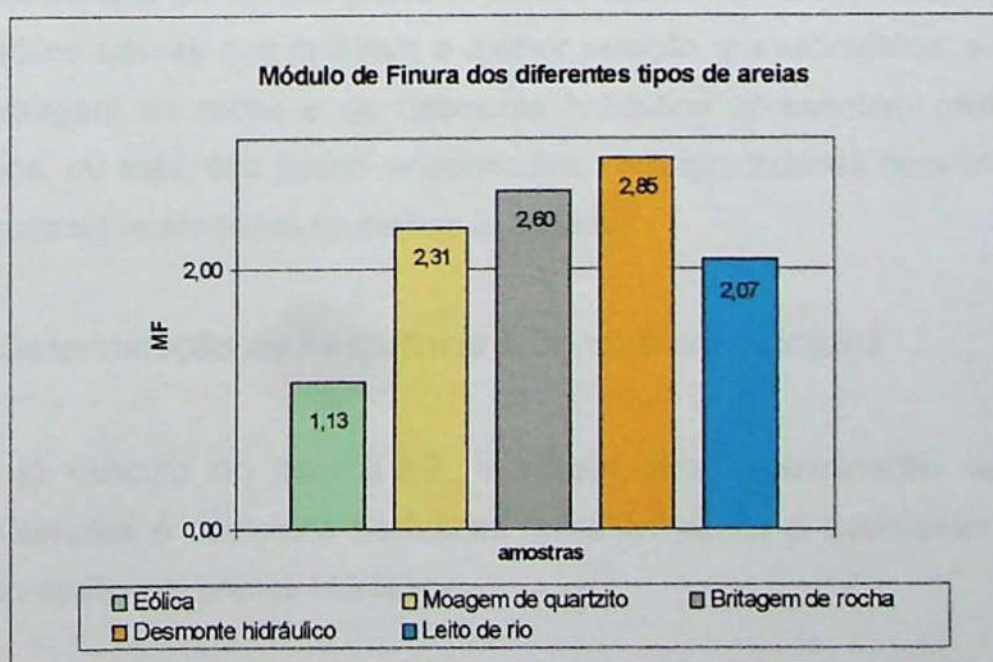


Figura 14. Módulo de Finura das areias estudadas.

Pelo gráfico da Figura 14 observa-se que apenas a areia de origem eólica pode ser classificada como fina ($MF < 2$), enquanto que as demais são classificadas como areias médias ($2 < MF < 3$). Deve-se observar que as areias de leito de rio tem seu Módulo de Finura ($MF=2,07$) praticamente no limite entre areia média e fina.

Os valores referentes à análise granulométrica de todos os tipos de areias também foram colocados em um único gráfico (Figura 15) para permitir melhor visualização e comparação das curvas obtidas.

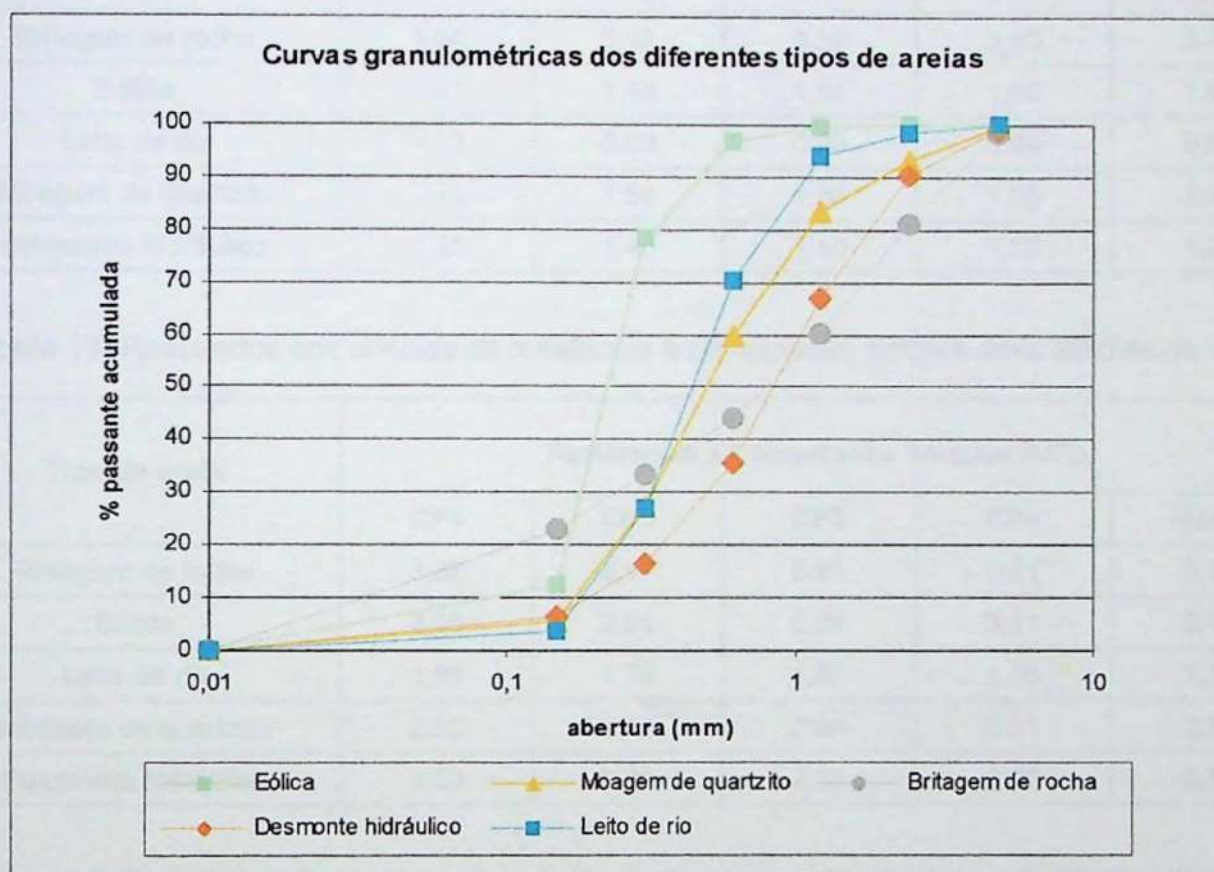


Figura 15. Curvas granulométricas comparando os diferentes tipos de areias estudados.

Observa-se que as curvas granulométricas das areias de leito de rio, moagem de quartzito e eólica são as que mostram a melhor seleção granulométrica, enquanto que as areias de britagem de rocha e de desmonte hidráulico apresentam melhor distribuição granulométrica, ou seja, são pouco selecionadas, com quantidades bem mais equilibradas de material presentes em todas as malhas analisadas.

7.1.2 Determinação da Resistência à Compressão Simples

Como já descrito no item 6.3.2, o ensaio para determinação da resistência à compressão simples é composto por várias fases anteriores à submissão dos corpos de prova à compressão em prensa hidráulica.

Para cada período predeterminado de cura em câmara úmida, foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão 4 corpos de prova de cada tipo de argamassa elaborada com diferentes tipos de areias. Os resultados obtidos estão indicados nas Tabelas 12, 13 e 14, respectivamente para os períodos de 7, 28 e 90 dias de cura.

Tabela 12. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples após 7 dias de cura.

Tipo de areia	Resistência à Compressão Simples (MPa)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	Média
Britagem de rocha	3,64	3,53	3,32	3,43	3,48
Eólica	1,51	1,45	1,51	1,66	1,53
Leito de rio	1,09	0,88	0,93	0,93	0,96
Moagem de quartzito	1,76	1,66	1,56	1,66	1,66
Desmonte hidráulico	1,35	1,40	1,40	1,35	1,37

Tabela 13. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples após 28 dias de cura.

Tipo de areia	Resistência à Compressão Simples (MPa)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	Média
Britagem de rocha	5,87	5,97	5,92	5,71	5,87
Eólica	3,06	2,91	3,06	3,11	3,04
Leito de rio	1,66	1,76	1,87	1,56	1,71
Moagem de quartzito	2,80	2,70	2,80	3,11	2,85
Desmonte hidráulico	2,50	2,60	2,39	2,60	2,52

Tabela 14. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples após 90 dias de cura.

Tipo de areia	Resistência à Compressão Simples (MPa)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	Média
Britagem de rocha	8,51	8,62	8,51	8,83	8,62
Eólica	4,15	3,84	4,05	4,26	4,07
Leito de rio	3,63	3,22	3,43	3,63	3,48
Moagem de quartzito	3,43	3,84	3,63	3,53	3,61
Desmonte hidráulico	4,15	4,36	4,46	4,15	4,28

Para tecer comparações, a Tabela 15 mostra resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados com argamassas elaboradas com areia padrão, em períodos predeterminados de cura de 7, 28 e 90 dias. As diferentes resistências à compressão apresentadas pelas argamassas estudadas e pela argamassa de areia padrão estão expressas no gráfico comparativo da Figura 16.

Tabela 15. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples utilizando-se areia padrão.

Dias de cura	Resistência à Compressão Simples (MPa)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	Média
7	2,3	2,2	2,4	2,2	2,3
28	4,2	4,3	4,3	4,1	4,2
90	4,9	4,8	5,0	5,0	4,9

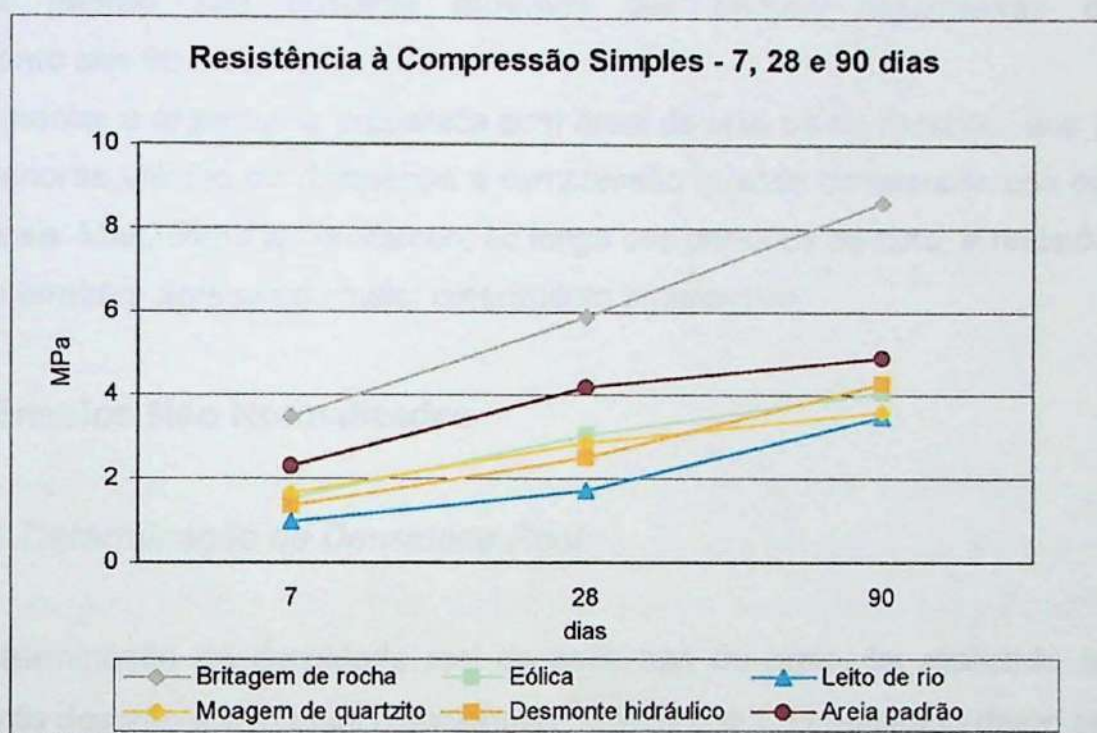


Figura 16. Gráfico comparativo de Resistência à Compressão Simples para argamassas estudadas.

Observando-se as Tabelas 12, 13 e 14 e a Figura 16, constata-se um crescimento da resistência à compressão de todas as argamassas à medida que os períodos de cura em câmara úmida aumentaram. A resistência à compressão aos 7 dias, para as cinco argamassas, não ultrapassou o valor de 4MPa. Já aos 28 dias, os valores de resistência à compressão ficaram abaixo de 6MPa e para o último período de cura, 90 dias, os valores de resistência para todas as argamassas não foram maiores que 9MPa.

Entretanto, fica clara a diferença de resistência à compressão da argamassa preparada com areia resultante da britagem de rocha. Esta argamassa, quando comparada às demais, destaca-se com valores sempre maiores, dividindo assim, os cinco tipos estudados em 2 grupos distintos, já que as outras argamassas apresentam valores de resistência muito próximos nos três períodos determinados. Este fato pode ser comprovado inclusive com a observação do valor de resistência da argamassa preparada com areia resultante da britagem de rocha, aos 90 dias, quando comparado com o maior valor de resistência do outro grupo (areia de desmonte hidráulico): chega a ser mais que o dobro.

Deve-se ainda assinalar o incremento da resistência à compressão simples mostrado pela areia de britagem de rocha, que apresentou um ganho de 147% na resistência à ruptura após 90 dias de cura em relação à resistência após 7 dias. Já as areias de leito de rio e desmante hidráulico apresentaram ganho de 262% e 212% de resistência, respectivamente, porém com valores absolutos mais baixos.

Comparando-se os resultados obtidos com a argamassa de areia padrão, observou-se valores invariavelmente mais altos da argamassa elaborada com areia de britagem de rocha, mostrando diferença de 3,72 MPa em 90 dias de cura. Além disso, os valores da argamassa padrão são bastante próximos das demais argamassas estudadas, principalmente aos 90 dias.

Finalmente, a argamassa preparada com areia de leito de rio mostrou, aos 7, 28 e 90 dias, os menores valores de resistência à compressão quando comparada aos outros tipos de argamassa. Mas, como já constatado, ao longo dos períodos de cura, a resistência desta argamassa também apresentou maior crescimento progressivo.

7.2 Ensaios Não Normalizados

7.2.1 Determinação da Densidade Real

A determinação da densidade real de cada tipo de areia, foi realizada segundo o procedimento descrito e a fórmula mencionada no item 6.4.1. O resultado deste ensaio está apresentado na Tabela 16.

Tabela 16. Resultados do ensaio para determinação de densidade real.

Tipo de areia	A-peso recipiente vazio e seco(g)	B-peso recipiente + amostra (g)	C-peso recipiente + amostra + água (g)	D-peso recipiente + água (g)	densidade (g/cm ³)
Eólica	23,09	50,12	90,03	73,27	
	23,08	51,27	90,74	73,27	
	23,09	52,19	91,27	73,27	
<i>média</i>	23,09	51,19	90,68	73,27	2,63
Moagem de quartzito	23,08	50,69	90,13	73,28	
	23,08	51,33	90,73	73,28	
	23,08	50,52	90,40	73,28	
<i>média</i>	23,08	50,85	90,42	73,28	2,61
Britagem de rocha	35,93	60,95	100,86	85,34	
	35,95	66,99	104,07	85,39	
	35,93	68,48	105,39	85,39	
	35,97	61,08	100,90	85,39	
<i>média</i>	35,95	64,38	102,81	85,38	2,58
Desmante hidráulico	35,91	59,05	99,51	85,39	
	35,91	57,62	98,66	85,39	
	35,91	56,44	97,77	85,39	
<i>média</i>	35,91	57,70	98,65	85,39	2,55
Leito de rio	35,91	58,22	98,91	85,39	
	35,91	56,10	97,65	85,39	
	35,91	55,81	97,53	85,39	
	35,91	54,03	96,37	85,39	
<i>média</i>	35,91	56,04	97,62	85,39	2,55

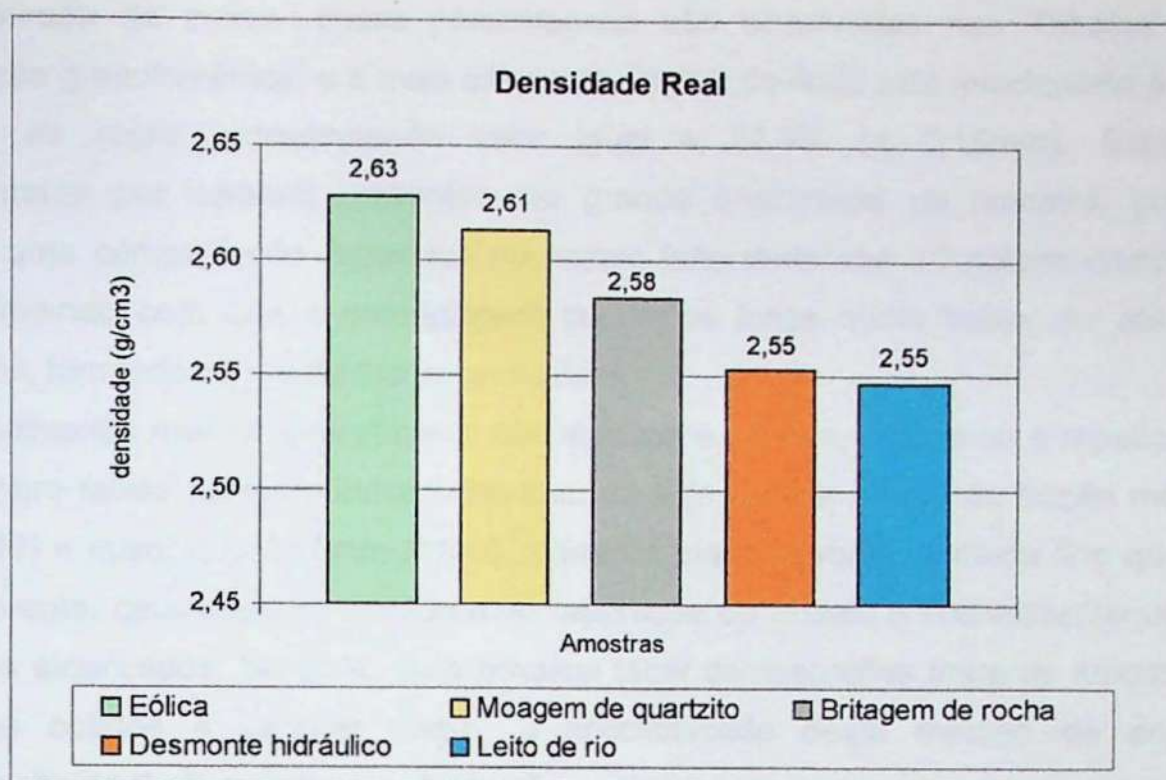


Figura 17. Densidade real das areias analisadas.

Observando-se a Figura 17, constata-se que as areias analisadas apresentam diferentes densidades, sendo a areia eólica a mais densa ($2,63\text{g/cm}^3$) e a areia de leito de rio a menos densa ($2,55\text{g/cm}^3$). A areia de brita apresenta densidade intermediária relativa.

Vale lembrar da densidade do quartzo, igual a $2,65\text{g/cm}^3$, um valor muito próximo ao da densidade da areia eólica, o que pode indicar alta seleção mineralógica, sendo, portanto, uma areia essencialmente quartzosa.

7.2.2 Determinação do Índice de Forma e Textura dos Grãos

O ensaio para determinação do “índice de forma e textura dos grãos”, cujo procedimento já foi descrito no item 6.4.2, apesar de ter sido feito exatamente como indicado no Método de Teste da ASTM (American Society for Testing and Materials): ASTM – D 3398-81 “Index of aggregate particle shape and texture”, 1981, apresentou resultados que não foram passíveis de qualquer conclusão. Estes resultados passaram por avaliações e tentativas de comparação com resultados de outros ensaios executados neste projeto para que se encontrasse alguma justificativa e mesmo assim, não foi possível se chegar a alguma conclusão. Deve-se considerar também que este Método começou a ser utilizado tentativamente, no Brasil, muito recentemente, não existindo ainda dados comparativos ou que permitam melhor conhecimento ou aferição dos resultados.

Observando os resultados obtidos apresentados na Tabela 17, o que mais chama a atenção são valores negativos do índice da areia de britagem de rocha, quando comparado aos índices das outras areias. Sobre isso, a única justificativa encontrada foi a elevada

porcentagem em peso de material fino, menor que #100 ($< 0,15\text{mm}$), presente nesta areia se comparada às outras. Estas porcentagens são observadas nas Tabelas 7 a 11 (distribuição granulométrica) e a mais alta porcentagem de finos está relacionada à areia de britagem de rocha, apresentando valor igual a 22,9% ($< 0,15\text{mm}$). Estes finos, provavelmente por estarem presentes em grande quantidade na amostra, podem ter causado uma compactação excessiva no ensaio feito tanto aos 10 golpes como aos 50 golpes, fazendo com que a porcentagem de vazios fosse muito baixa, ou até mesmo inexistente, tornando os resultados inconclusivos.

Objetivando melhor entendimento dos resultados obtidos, propõe-se a repetição deste ensaio sobre faixas granulométricas distintas, ou seja, utilizar areias de fração menor que 4,8mm (#4) e maior que 0,15mm (#100), retirando assim, o material muito fino que possa, eventualmente, causar algum problema na realização do ensaio e conseqüentemente, dos resultados alcançados. Só então será possível tecer comparações entre as amostras e os resultados obtidos e verificar assim, a aplicabilidade deste método de ensaio na determinação do "índice de forma e textura".

Tabela 17. Índice de forma e textura superficial dos grãos.

Britagem de rocha					
<i>densidade</i>	<i>M_{10 (g)}</i>	<i>V_{10 (%)}</i>	<i>M_{50 (g)}</i>	<i>V_{50 (%)}</i>	<i>I (médio)</i>
2,58 g/cm ³	5.840	30	6.160	26	-1
	5.850	30	6.165	26	-1
	5.870	30	6.195	26	-1
					-1
Eólica					
<i>densidade</i>	<i>M_{10 (g)}</i>	<i>V_{10 (%)}</i>	<i>M_{50 (g)}</i>	<i>V_{50 (%)}</i>	<i>I (médio)</i>
2,63 g/cm ³	5.340	37	5.480	36	5,25
	5.340	37	5.455	36	5,25
	5.320	38	5.480	36	6,5
					5,67
Leito de rio					
<i>densidade</i>	<i>M_{10 (g)}</i>	<i>V_{10 (%)}</i>	<i>M_{50 (g)}</i>	<i>V_{50 (%)}</i>	<i>I (médio)</i>
2,55 g/cm ³	4.975	40	5.115	38	8,5
	4.980	40	5.130	38	8,5
	4.980	40	5.120	38	8,5
					8,5
Moagem de quartzito					
<i>densidade</i>	<i>M_{10 (g)}</i>	<i>V_{10 (%)}</i>	<i>M_{50 (g)}</i>	<i>V_{50 (%)}</i>	<i>I (médio)</i>
2,61 g/cm ³	4.960	42	5.140	39	10,75
	4.975	41	5.170	39	9,5
	4.985	41	5.190	39	9,5
					9,92
Desmonte hidráulico					
<i>densidade</i>	<i>M_{10 (g)}</i>	<i>V_{10 (%)}</i>	<i>M_{50 (g)}</i>	<i>V_{50 (%)}</i>	<i>I (médio)</i>
2,55 g/cm ³	5.050	39	5.250	37	7,5
	5.045	39	5.250	37	7,5
	5.060	39	5.265	36	7,75
					7,6

7.2.3 Avaliação Microscópica Óptica

A avaliação feita por microscopia óptica utilizando-se lupa, como descrito no item 6.4.3, resultou na classificação do grau de arredondamento e da esfericidade. De acordo com o método apresentado, obteve-se grande número de dados sendo este melhor observado e compreendido através de análise estatística simples e gráficos de frequência.

O tratamento estatístico dos dados obtidos nos ensaios realizados sobre as areias em estudo estão apresentadas nas Tabelas 18 a 22, enquanto que as frequências referentes ao grau de arredondamento dos grãos estão apresentadas em gráficos, respectivamente da Figura 18 a 22.

O Anexo 1 reúne as imagens obtidas na lupa referentes aos grãos de todos os tipos de areia analisados e as tabelas que deram origem aos dados estatísticos desta avaliação.

Tabela 18 - Frequência de arredondamento dos grãos de areia tipo 1			
Grado de arredondamento	Número de grãos	Frequência	Porcentagem
0,1 a 0,2	1	1	1,0
0,2 a 0,3	1	1	1,0
0,3 a 0,4	1	1	1,0
0,4 a 0,5	1	1	1,0
0,5 a 0,6	1	1	1,0
0,6 a 0,7	1	1	1,0
0,7 a 0,8	1	1	1,0
0,8 a 0,9	1	1	1,0
0,9 a 1,0	1	1	1,0
Total	10	10	100,0

Tabela 19 - Frequência de arredondamento dos grãos de areia tipo 2			
Grado de arredondamento	Número de grãos	Frequência	Porcentagem
0,1 a 0,2	1	1	1,0
0,2 a 0,3	1	1	1,0
0,3 a 0,4	1	1	1,0
0,4 a 0,5	1	1	1,0
0,5 a 0,6	1	1	1,0
0,6 a 0,7	1	1	1,0
0,7 a 0,8	1	1	1,0
0,8 a 0,9	1	1	1,0
0,9 a 1,0	1	1	1,0
Total	10	10	100,0

Tabela 20 - Frequência de arredondamento dos grãos de areia tipo 3			
Grado de arredondamento	Número de grãos	Frequência	Porcentagem
0,1 a 0,2	1	1	1,0
0,2 a 0,3	1	1	1,0
0,3 a 0,4	1	1	1,0
0,4 a 0,5	1	1	1,0
0,5 a 0,6	1	1	1,0
0,6 a 0,7	1	1	1,0
0,7 a 0,8	1	1	1,0
0,8 a 0,9	1	1	1,0
0,9 a 1,0	1	1	1,0
Total	10	10	100,0

Tabela 21 - Frequência de arredondamento dos grãos de areia tipo 4			
Grado de arredondamento	Número de grãos	Frequência	Porcentagem
0,1 a 0,2	1	1	1,0
0,2 a 0,3	1	1	1,0
0,3 a 0,4	1	1	1,0
0,4 a 0,5	1	1	1,0
0,5 a 0,6	1	1	1,0
0,6 a 0,7	1	1	1,0
0,7 a 0,8	1	1	1,0
0,8 a 0,9	1	1	1,0
0,9 a 1,0	1	1	1,0
Total	10	10	100,0

Tabela 22 - Frequência de arredondamento dos grãos de areia tipo 5			
Grado de arredondamento	Número de grãos	Frequência	Porcentagem
0,1 a 0,2	1	1	1,0
0,2 a 0,3	1	1	1,0
0,3 a 0,4	1	1	1,0
0,4 a 0,5	1	1	1,0
0,5 a 0,6	1	1	1,0
0,6 a 0,7	1	1	1,0
0,7 a 0,8	1	1	1,0
0,8 a 0,9	1	1	1,0
0,9 a 1,0	1	1	1,0
Total	10	10	100,0

Tabela 18. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia de britagem de rocha em três frações granulométricas.

#28 (0,6mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	1,126	1,526	0,7
Desvio Padrão	0,654	0,570	0,1
Máximo	3,254	2,967	0,9
Mínimo	0,002	0,061	0,2
arredondamento	contagem de grãos		frequência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	2	1,53
0,3 e 0,4	subangular	5	3,82
0,5 e 0,6	subarredondado	17	12,98
0,7 e 0,8	arredondado	94	71,76
0,9 e 1,0	bem arredondado	13	9,92
	<i>total</i>	131	100,00
#48 (0,3mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,269	0,733	0,8
Desvio Padrão	0,121	0,190	0,1
Máximo	0,847	1,524	0,9
Mínimo	0,004	0,183	0,3
arredondamento	contagem de grãos		frequência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	3	1,90
0,5 e 0,6	subarredondado	10	6,33
0,7 e 0,8	arredondado	108	68,35
0,9 e 1,0	bem arredondado	37	23,42
	<i>total</i>	158	100,00
#100 (0,15mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,292	0,759	0,8
Desvio Padrão	0,149	0,224	0,1
Máximo	0,746	1,504	0,9
Mínimo	0,003	0,163	0,3
arredondamento	contagem de grãos		frequência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	1	0,91
0,5 e 0,6	subarredondado	4	3,64
0,7 e 0,8	arredondado	81	73,64
0,9 e 1,0	bem arredondado	24	21,82
	<i>total</i>	110	100,00

A Tabela 18 mostra valores médios de arredondamento iguais a 0,7 e 0,8 para as 3 frações granulométricas analisadas. Tais valores classificam estes materiais como arredondados. A frequência de grãos arredondados nas três frações é superior a 68%. Vale ressaltar que, apesar de uma pequena quantidade, esta areia apresenta grãos subangulares, nas três malhas, com porcentagem um pouco maior na malha #28 (3,82%). Já o material angular está presente apenas na malha #28 (0,6mm), também apresentando pequena porcentagem: 1,53%. As frequências do arredondamento das três malhas podem ser melhor comparadas na Figura 18.

Os grãos de areia (Anexo 1) apresentaram, predominantemente, média esfericidade.

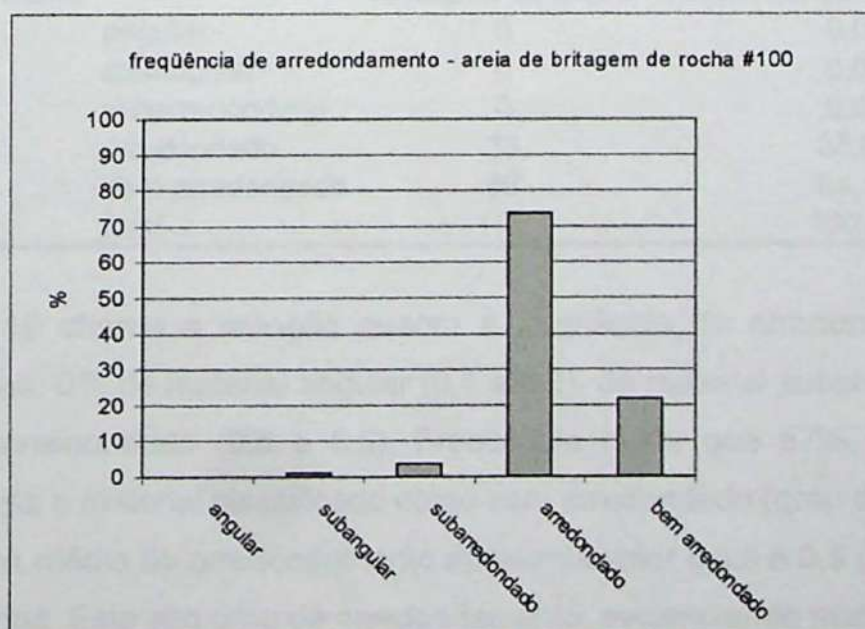
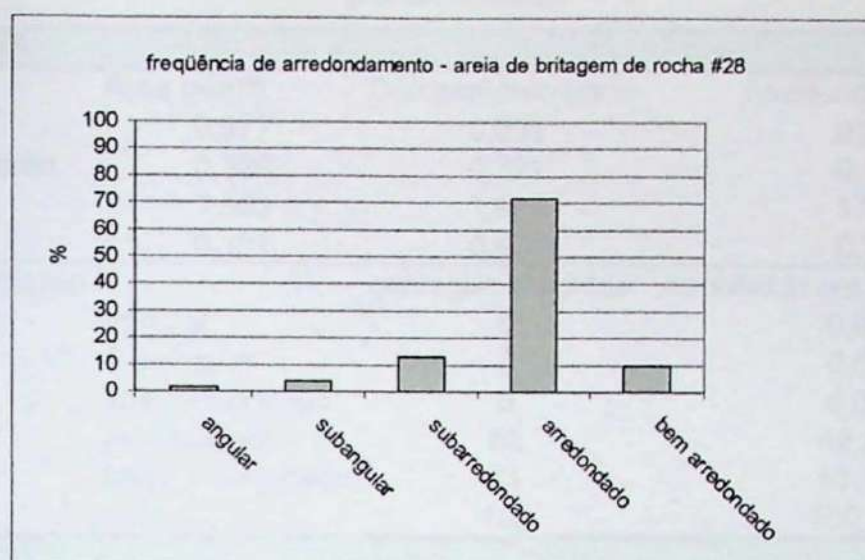


Figura 18. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia resultante da britagem de rocha.

Tabela 19. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia eólica em três frações granulométricas.

#28 (0,6mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,577	0,991	0,9
Desvio Padrão	0,329	0,321	0,1
Máximo	1,863	1,992	1,0
Mínimo	0,132	0,474	0,7
arredondamento		contagem de grãos	freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	0	0,00
0,7 e 0,8	arredondado	52	42,28
0,9 e 1,0	bem arredondado	71	57,72
	<i>total</i>	123	100,00
#48 (0,3mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,209	0,590	0,9
Desvio Padrão	0,085	0,120	0,0
Máximo	0,626	1,138	1,0
Mínimo	0,099	0,407	0,7
arredondamento		contagem de grãos	freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	0	0,00
0,7 e 0,8	arredondado	32	19,05
0,9 e 1,0	bem arredondado	136	80,95
	<i>total</i>	168	100,00
#100 (0,15mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,184	0,569	0,9
Desvio Padrão	0,063	0,117	0,0
Máximo	0,324	0,833	1,0
Mínimo	0,061	0,325	0,8
arredondamento		contagem de grãos	freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	0	0,00
0,7 e 0,8	arredondado	38	35,85
0,9 e 1,0	bem arredondado	68	64,15
	<i>total</i>	106	100,00

A Tabela 19 chama a atenção quanto à freqüência de arredondamento nas três malhas analisadas: 0% de material angular (0,1 e 0,2), de material subangular (0,3 e 0,4) e de material subarredondado (0,5 e 0,6). Freqüência maior que 57%, também nas três malhas, representa o material classificado como bem arredondado (grau de arredondamento entre 0,9 e 1,0). A média do arredondamento apresenta valor igual a 0,9 (bem arredondado) para as três malhas. Este alto grau de arredondamento, evidenciando material homogêneo e bem selecionado (grãos bem trabalhados), pode ser observado e comparado entre as três malhas na Figura 19.

Os grãos (Anexo 1) mostraram, predominantemente, média-alta esfericidade.

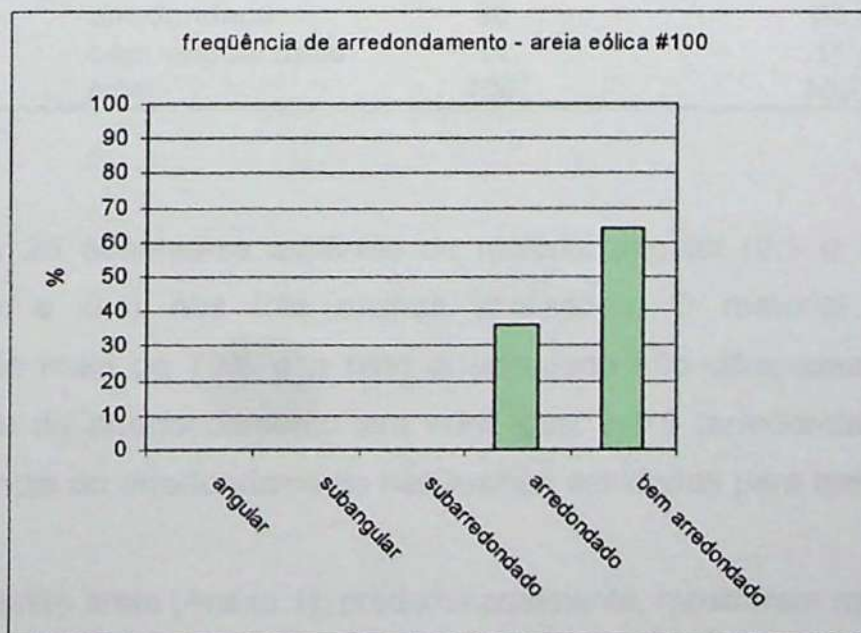
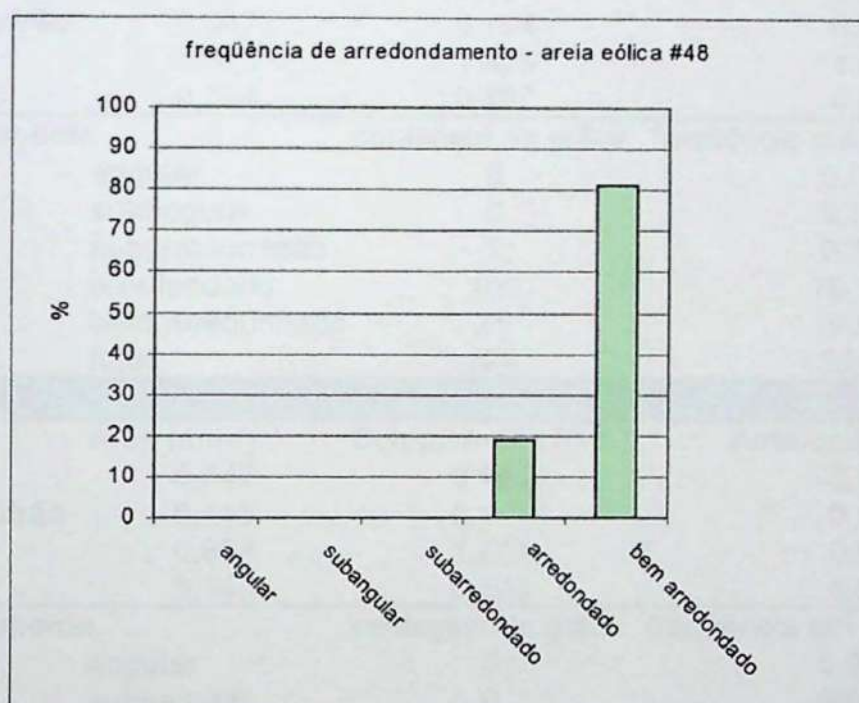
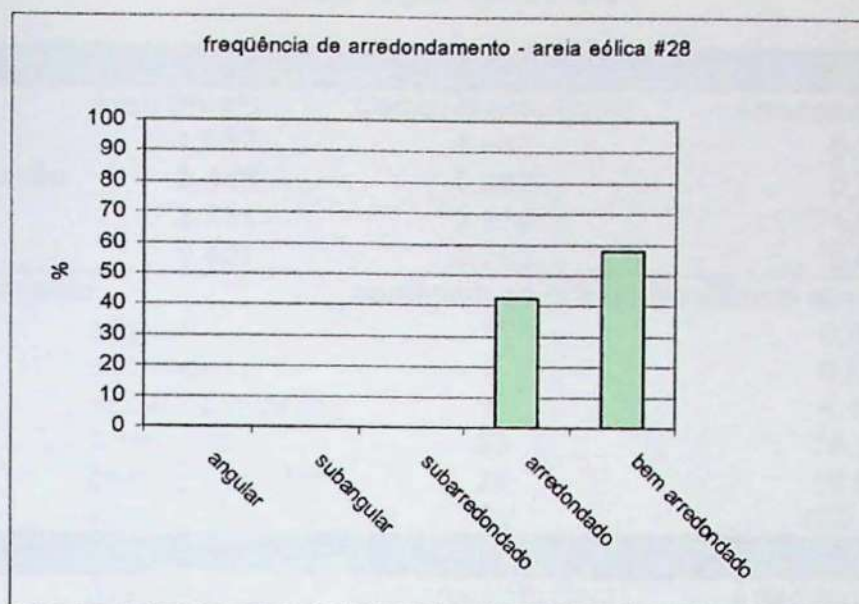


Figura 19. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia eólica.

Tabela 20. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia de leito de rio em três frações granulométricas.

#28 (0,6mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	1,057	1,443	0,8
Desvio Padrão	0,446	0,322	0,1
Máximo	2,711	2,378	1,0
Mínimo	0,407	0,793	0,6
arredondamento		contagem de grãos	freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	5	4,10
0,7 e 0,8	arredondado	93	76,23
0,9 e 1,0	bem arredondado	24	19,67
	<i>total</i>	122	100,00
#48 (0,3mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,220	0,664	0,8
Desvio Padrão	0,097	0,164	0,1
Máximo	0,616	1,423	1,0
Mínimo	0,094	0,407	0,6
arredondamento		contagem de grãos	freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	1	0,79
0,7 e 0,8	arredondado	100	79,37
0,9 e 1,0	bem arredondado	25	19,84
	<i>total</i>	126	100,00
#100 (0,15mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,347	0,855	0,8
Desvio Padrão	0,115	0,171	0,1
Máximo	0,654	1,301	0,9
Mínimo	0,140	0,508	0,5
arredondamento		contagem de grãos	freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	9	9,00
0,7 e 0,8	arredondado	80	80,00
0,9 e 1,0	bem arredondado	11	11,00
	<i>total</i>	100	100,00

Na Tabela 20 observa-se ausência de material angular (0,1 e 0,2) e de material subangular (0,3 e 0,4) nas três malhas analisadas. O material arredondado tem representação de mais de 70% e o bem arredondado não ultrapassa os 20% nas três malhas. A média do arredondamento tem valor igual a 0,8 (arredondado) e a Figura 20 mostra a freqüência do arredondamento nas malhas estudadas para melhor comparação e visualização.

Os grãos desta areia (Anexo 1), predominantemente, mostraram média esfericidade e na malha #28 predominaram grãos de média-alta esfericidade.

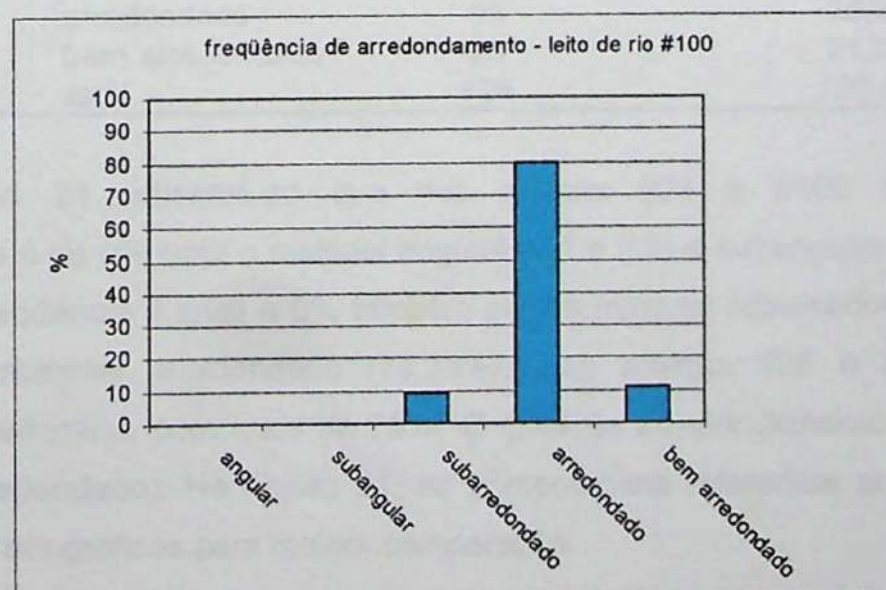
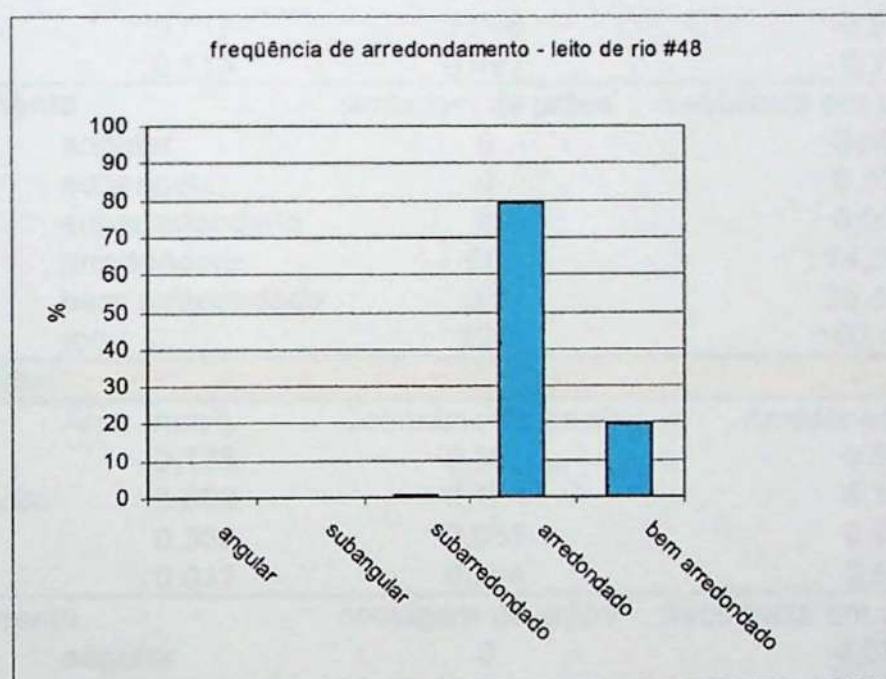


Figura 20. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia de leito de rio.

Tabela 21. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia resultante da moagem de quartzito em três frações granulométricas.

#28 (0,6mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	1,173	1,505	0,8
Desvio Padrão	0,401	0,316	0,1
Máximo	2,295	2,378	0,9
Mínimo	0,423	0,894	0,5
arredondamento	contagem de grãos		freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	9	7,50
0,7 e 0,8	arredondado	94	78,33
0,9 e 1,0	bem arredondado	17	14,17
	<i>total</i>	120	100,00
#48 (0,3mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,278	0,731	0,8
Desvio Padrão	0,084	0,132	0,1
Máximo	0,516	1,098	0,9
Mínimo	0,114	0,467	0,7
arredondamento	contagem de grãos		freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	0	0,00
0,7 e 0,8	arredondado	90	74,38
0,9 e 1,0	bem arredondado	31	25,62
	<i>total</i>	121	100,00
#100 (0,15mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,175	0,581	0,8
Desvio Padrão	0,062	0,124	0,1
Máximo	0,308	0,955	0,9
Mínimo	0,032	0,244	0,6
arredondamento	contagem de grãos		freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	3	2,33
0,7 e 0,8	arredondado	98	75,97
0,9 e 1,0	bem arredondado	28	21,71
	<i>total</i>	129	100,00

Na Tabela 21, observa-se que nas malhas #28 e #100 a freqüência de arredondamento é de 0% para o material angular (0,1 e 0,2) e subangular (0,3 e 0,4). Já na malha #48, a freqüência é igual a 0% também para o material subarredondado (0,5 e 0,6), predominando material arredondado (74,38%). Nas malhas #28 e #100, o material arredondado predomina, com mais de 70%. O grau de arredondamento apresenta média igual a 0,8 (arredondado). Na Figura 21, as porcentagens referentes ao arredondamento estão dispostas em gráficos para melhor comparação.

Os grãos de areia (Anexo 1) apresentaram, na grande maioria, média esfericidade.

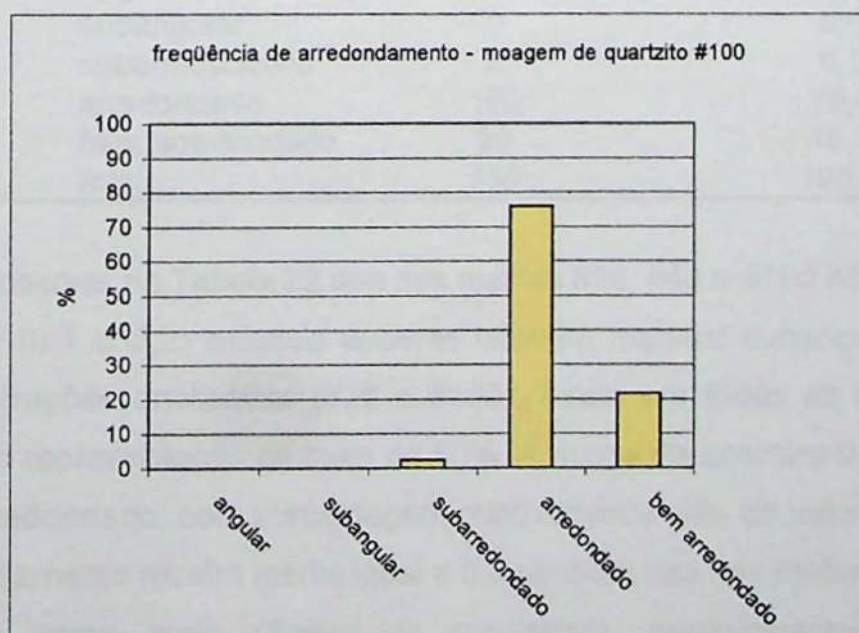
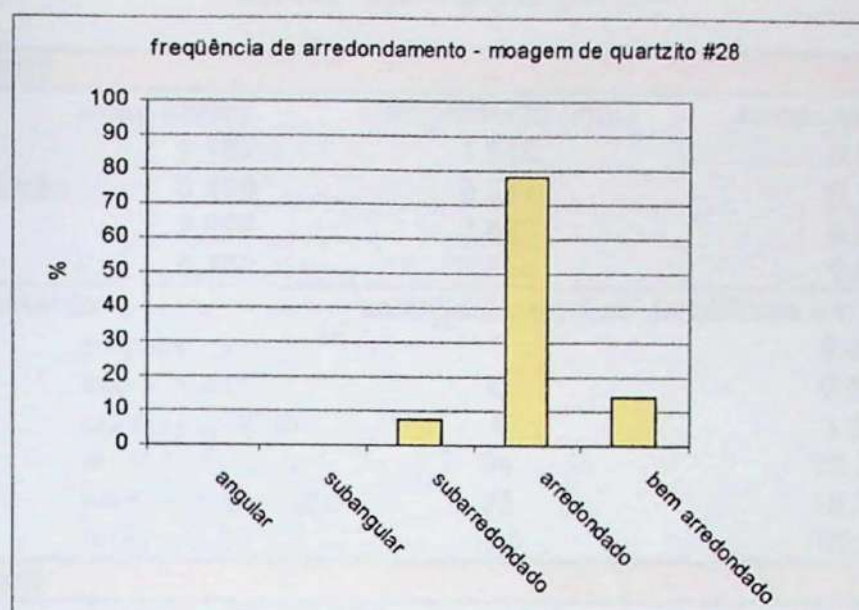


Figura 21. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia resultante da moagem de quartzito.

Tabela 22. Dados estatísticos referentes ao grau de arredondamento da areia de desmonte hidráulico em três frações granulométricas.

#28 (0,6mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	1,167	1,515	0,8
Desvio Padrão	0,430	0,327	0,1
Máximo	2,297	2,663	0,9
Mínimo	0,433	0,854	0,6
arredondamento	contagem de grãos		freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	4	3,33
0,7 e 0,8	arredondado	94	78,33
0,9 e 1,0	bem arredondado	22	18,33
	<i>total</i>	120	100,00
#48 (0,3mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,301	0,757	0,8
Desvio Padrão	0,099	0,160	0,1
Máximo	0,566	1,321	0,9
Mínimo	0,010	0,142	0,4
arredondamento	contagem de grãos		freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	1	0,78
0,5 e 0,6	subarredondado	3	2,33
0,7 e 0,8	arredondado	90	69,77
0,9 e 1,0	bem arredondado	35	27,13
	<i>total</i>	129	100,00
#100 (0,15mm)			
	Área (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
Média	0,069	0,371	0,8
Desvio Padrão	0,037	0,112	0,1
Máximo	0,205	0,771	0,9
Mínimo	0,026	0,202	0,6
arredondamento	contagem de grãos		freqüência em porcentagem
0,1 e 0,2	angular	0	0,00
0,3 e 0,4	subangular	0	0,00
0,5 e 0,6	subarredondado	8	6,15
0,7 e 0,8	arredondado	102	78,46
0,9 e 1,0	bem arredondado	20	15,38
	<i>total</i>	130	100,00

Pode-se observar na Tabela 22 que nas malhas #28, #48 e #100 não há freqüência de material angular (0,1 e 0,2) estando ausente também material subangular (0,3 e 0,4) na maior e menor frações analisadas (#28 e #100). Ainda em todas as malhas, o material arredondado tem representação de mais de 60%. A malha de abertura 0,3mm (#48) mostra material bem arredondado, com porcentagem relativamente alta, de valor igual a 27,13%. O grau de arredondamento mostra média igual a 0,8 também nas três malhas analisadas.

Os grãos desta areia (Anexo 1) mostraram, predominantemente, média-alta esfericidade.

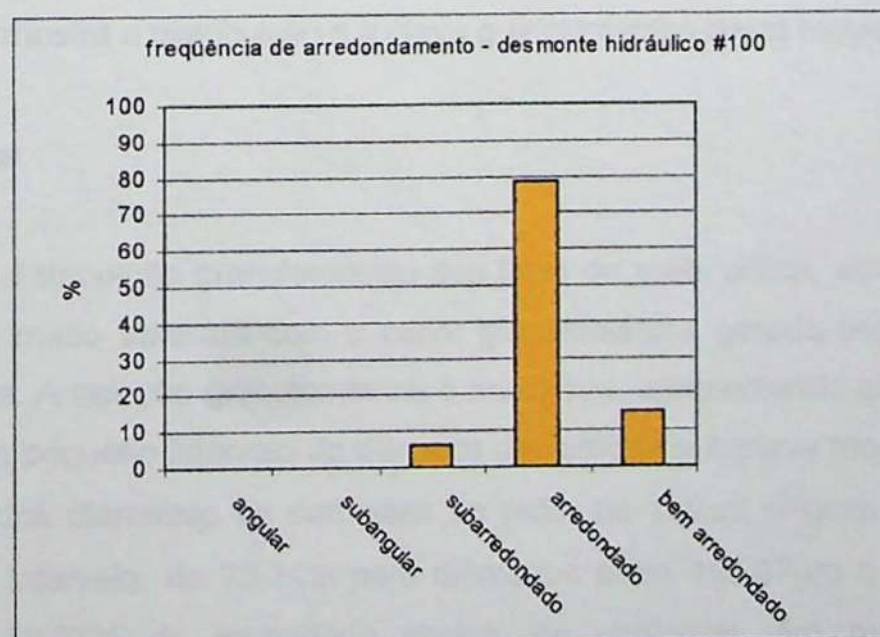
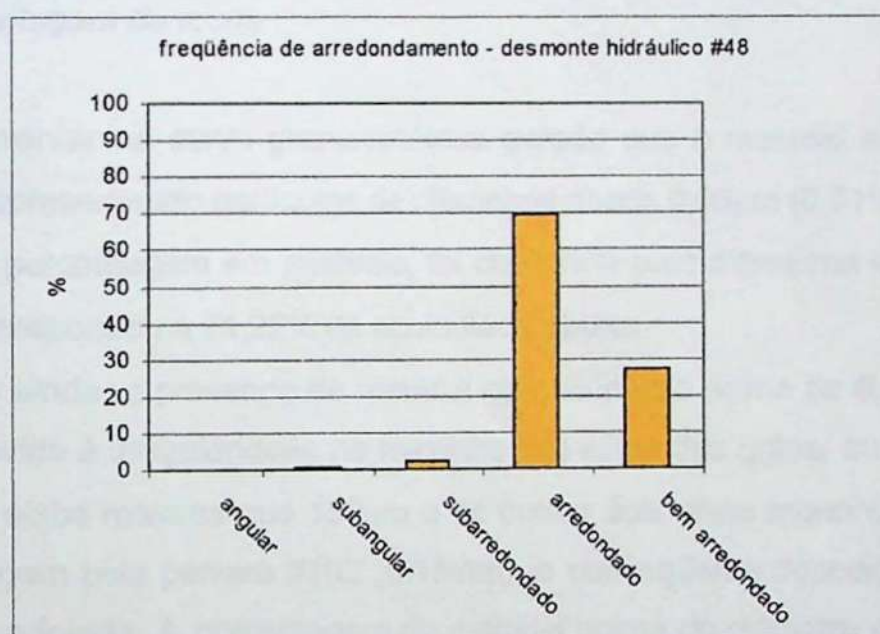
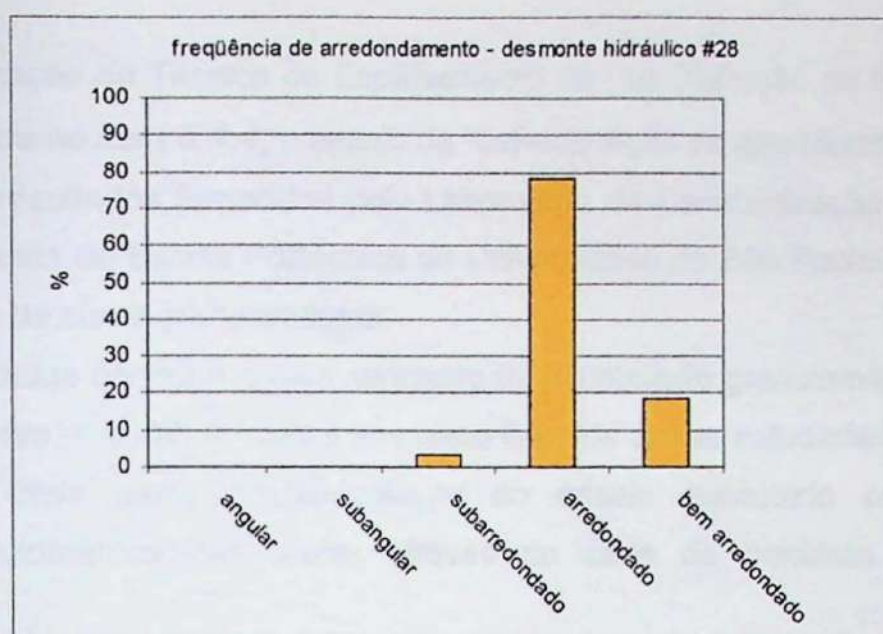


Figura 22. Gráficos representando freqüência do grau de arredondamento da areia de desmonte hidráulico.

7.2.4 Determinação da Granulometria por Difração Laser

Com a utilização da Técnica de Espalhamento de Luz (Difração de Raios Laser) e a aparelhagem citada no item 6.4.4, o ensaio da “determinação da granulometria por difração laser” teve seus resultados fornecidos pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-USP através de tabelas e gráficos de curva granulométrica.

Estes resultados serviram à caracterização da distribuição granulométrica do material mais fino ($< 0,15\text{mm}$, $< \#100$) presente nos cinco tipos de areias estudadas neste projeto e portanto, foram úteis para complementação do ensaio executado para análise da distribuição granulométrica das areias através de série de peneiras como já visto anteriormente.

♦ Areia de britagem de rocha

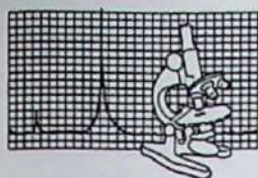
Pode-se observar na curva granulométrica gerada que o material analisado mostra boa distribuição, apresentando partículas de diâmetros desde $0,08\mu\text{m}$ (0,01%) até $258,95\mu\text{m}$ (0,23%). A maior porcentagem em intervalo, foi de 6,13% para diâmetros entre $65,51\mu\text{m}$ e $76,32\mu\text{m}$, que correspondeu a 71,92% de acumulada abaixo.

Constata-se ainda, a presença de material com diâmetro acima de $0,15\text{mm}$ ($150\mu\text{m}$), provavelmente devido à irregularidade no tamanho dos eixos dos grãos, ou seja, grãos que possuem um dos eixos maiores que $150\mu\text{m}$ e os outros dois eixos menores, possibilitando assim, sua passagem pela peneira $\#100$ ($0,15\text{mm}$), e conseqüente deposição no fundo da série de peneiras adotada. A porcentagem de material acima do diâmetro de $0,15\text{mm}$ ficou em torno de 7%.

A Figura 23 mostra a distribuição e a curva granulométrica deste material analisado.

♦ Areia eólica

A curva da distribuição granulométrica dos finos de areia eólica, obtida por difração laser, mostrou-se muito parecida com a curva granulométrica gerada pelo peneiramento feito anteriormente. A seleção granulométrica é muito boa, apresentando alta concentração de material em um pequeno intervalo de diâmetro de partículas. A curva mostra crescimento abrupto próximo dos diâmetros de partículas ao redor de $100\mu\text{m}$ (Figura 24), com maior porcentagem em intervalo, de 20,14% para diâmetros entre $120,67\mu\text{m}$ e $140,58\mu\text{m}$, que correspondeu a 62,67% de acumulada abaixo. As partículas têm representação de diâmetros desde $0,20\mu\text{m}$ (0,01%) até $258,95\mu\text{m}$ (2,40%).



LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São PauloAv. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (0XX11) 3818-5151, 3818-5551 e 3818-5787e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (0XX11) 3815-5785

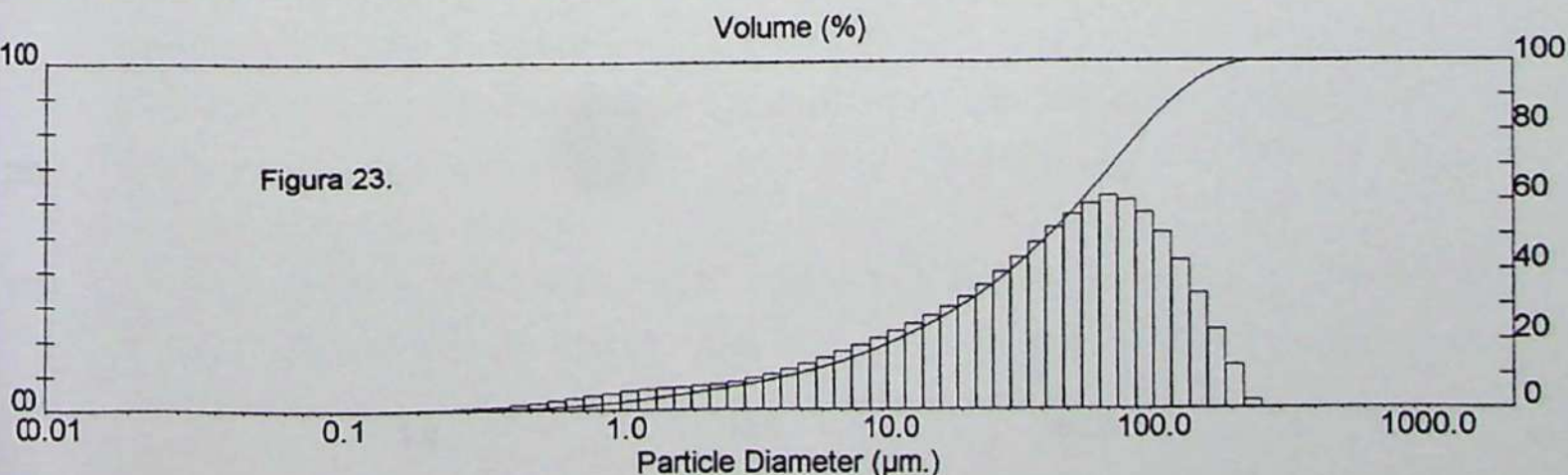
RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Detalhes da Amostra		
Histórico: Certificado:868/00	Run Number: 20	Medida:
Arquivo: 868-00	Record Number: 21	Análise: Thu 26 de Oct de 2000 16:01
Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\		Fonte de Resultados: Média
Locais: AMOSTRA: finos de pedra de Embú/SP -100#		
CLIENTE: LIZ DE MELLO ZANCHETTA		
Meio de dispersão: Água deionizada	Dispersante:Calgon	
Ultrassom: 30 segundos	Velocidade da Bomba:2500	

Detalhes do Sistema		Measured Beam Obscuration: 14.7 %
Sampler:	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.999 %
Representation: 5OJD		
Analysis Model: Polydisperse		
Modifications: None		

Resultados Estatísticos			
Tipo de Distribuição: Volume	Concentração = 0.0203 %Vol	Densidade = 2.650 g / cm ³	Área Superf. Espec. = 0.2727 m ² / g
Diametros Médios:	D (v, 0.1) = 4.59 µm	D (v, 0.5) = 42.57 µm	D (v, 0.9) = 126.28 µm
[4, 3] = 55.27 µm	D [3, 2] = 8.30 µm	Span = 2.859E+00	Uniformidade = 8.900E-01

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	1.49	6.63	13.32
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	1.67	7.72	14.99
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	1.85	9.00	16.84
0.08	0.01	0.09	0.01	9.00	2.05	10.48	18.88
0.09	0.01	0.11	0.02	10.48	2.25	12.21	21.13
0.11	0.02	0.13	0.04	12.21	2.46	14.22	23.59
0.13	0.03	0.15	0.07	14.22	2.69	16.57	26.29
0.15	0.04	0.17	0.10	16.57	2.95	19.31	29.23
0.17	0.05	0.20	0.15	19.31	3.23	22.49	32.46
0.20	0.06	0.23	0.21	22.49	3.56	26.20	36.02
0.23	0.07	0.27	0.28	26.20	3.94	30.53	39.96
0.27	0.08	0.31	0.36	30.53	4.35	35.56	44.32
0.31	0.09	0.36	0.45	35.56	4.79	41.43	49.10
0.36	0.12	0.42	0.57	41.43	5.21	48.27	54.31
0.42	0.16	0.49	0.74	48.27	5.59	56.23	59.90
0.49	0.22	0.58	0.96	56.23	5.89	65.51	65.79
0.58	0.29	0.67	1.25	65.51	6.13	76.32	71.92
0.67	0.37	0.78	1.62	76.32	6.01	88.91	77.93
0.78	0.45	0.91	2.07	88.91	5.65	103.58	83.58
0.91	0.52	1.06	2.58	103.58	5.06	120.67	88.64
1.06	0.58	1.24	3.16	120.67	4.27	140.58	92.91
1.24	0.62	1.44	3.78	140.58	3.31	163.77	96.22
1.44	0.65	1.68	4.42	163.77	2.29	190.80	98.51
1.68	0.67	1.95	5.10	190.80	1.26	222.28	99.77
1.95	0.71	2.28	5.80	222.28	0.23	258.95	100.00
2.28	0.75	2.65	6.55	258.95	0.00	301.68	100.00
2.65	0.82	3.09	7.37	301.68	0.00	351.46	100.00
3.09	0.91	3.60	8.29	351.46	0.00	409.45	100.00
3.60	1.03	4.19	9.32	409.45	0.00	477.01	100.00
4.19	1.18	4.88	10.49	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	1.33	5.69	11.83				





LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São PauloAv. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (0XX11) 3818-5151, 3818-5551 e 3818-5787e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (0XX11) 3815-5785

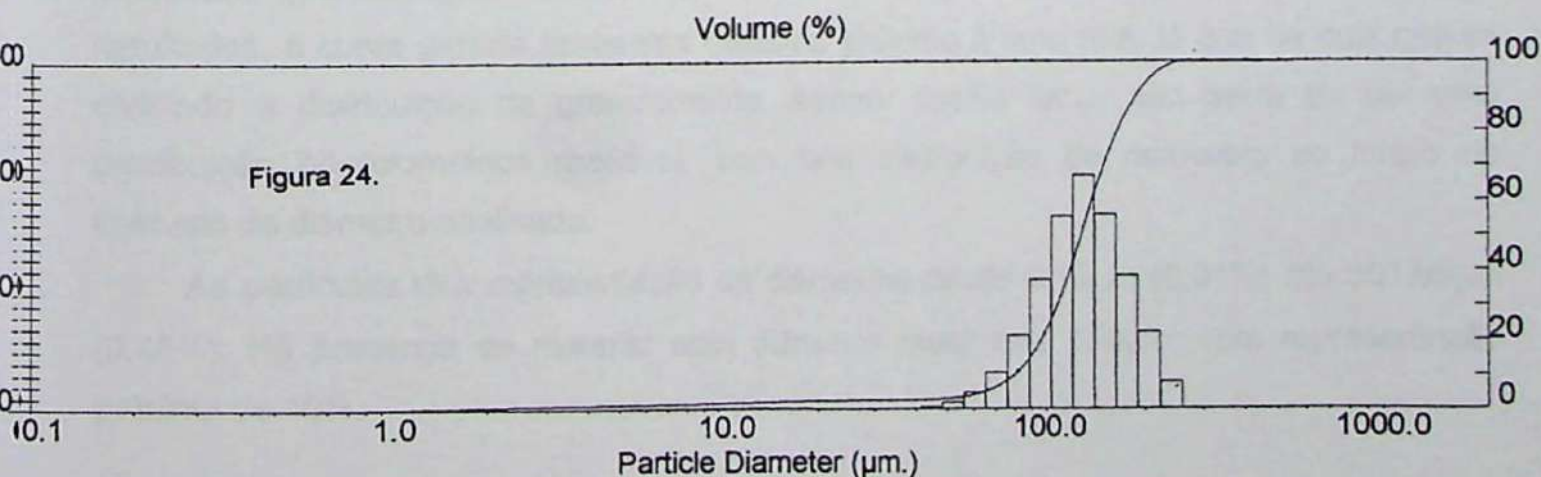
RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Detalhes da Amostra		
Histórico: Certificado:867/00	Run Number: 21	Medida:
Arquivo: 867-00	Record Number: 22	Análise: Thu 26 de Oct de 2000 15:58
Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\		Fonte de Resultados: Média
Notas: AMOSTRA: areia eólica Analândia/SP -100#		
CLIENTE: LIZ DE MELLO ZANCHETTA		
Meio de dispersão: Água deionizada	Dispersante: Calgon	
Ultrassom: 30 segundos	Velocidade da Bomba: 2500	

Detalhes do Sistema		Measured Beam Obscuration: 15.6 %
Sampler:		
Representation: 50JD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 1.109 %
Modifications: None		

Resultados Estatísticos			
tipo de Distribuição: Volume	Concentração = 0.0968 %Vol	Densidade = 2.650 g / cm3	Área Superf. Espec. = 0.0570 m2 / g
Diâmetros Médios:	D (v, 0.1) = 80.10 µm	D (v, 0.5) = 127.75 µm	D (v, 0.9) = 187.95 µm
[4, 3] = 129.85 µm	D [3, 2] = 39.75 µm	Span = 8.442E-01	Uniformidade = 2.665E-01

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	0.06	6.63	1.63
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	0.08	7.72	1.70
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	0.11	9.00	1.81
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	0.14	10.48	1.95
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	0.16	12.21	2.11
0.11	0.00	0.13	0.00	12.21	0.16	14.22	2.27
0.13	0.00	0.15	0.00	14.22	0.15	16.57	2.43
0.15	0.00	0.17	0.00	16.57	0.13	19.31	2.55
0.17	0.00	0.20	0.00	19.31	0.09	22.49	2.64
0.20	0.01	0.23	0.01	22.49	0.06	26.20	2.70
0.23	0.02	0.27	0.03	26.20	0.01	30.53	2.71
0.27	0.03	0.31	0.05	30.53	0.02	35.56	2.73
0.31	0.03	0.36	0.09	35.56	0.08	41.43	2.81
0.36	0.05	0.42	0.14	41.43	0.24	48.27	3.06
0.42	0.06	0.49	0.20	48.27	0.64	56.23	3.70
0.49	0.07	0.58	0.27	56.23	1.50	65.51	5.19
0.58	0.08	0.67	0.36	65.51	3.22	76.32	8.41
0.67	0.09	0.78	0.45	76.32	6.34	88.91	14.75
0.78	0.09	0.91	0.54	88.91	11.16	103.58	25.90
0.91	0.09	1.06	0.63	103.58	16.63	120.67	42.53
1.06	0.09	1.24	0.73	120.67	20.14	140.58	62.67
1.24	0.09	1.44	0.82	140.58	16.74	163.77	79.42
1.44	0.08	1.68	0.90	163.77	11.50	190.80	90.92
1.68	0.08	1.95	0.98	190.80	6.68	222.28	97.60
1.95	0.08	2.28	1.06	222.28	2.40	258.95	100.00
2.28	0.09	2.65	1.15	258.95	0.00	301.68	100.00
2.65	0.09	3.09	1.24	301.68	0.00	351.46	100.00
3.09	0.09	3.60	1.33	351.46	0.00	409.45	100.00
3.60	0.09	4.19	1.42	409.45	0.00	477.01	100.00
4.19	0.08	4.88	1.50	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	0.07	5.69	1.56				



Percebe-se que esta boa seleção (má distribuição granulométrica), refere-se a partículas maiores, dentro do intervalo de diâmetro estudado, ou seja, a maioria do material fino mostra diâmetro próximo de $120\mu\text{m}$.

Nesta amostra também é possível a observação de material com diâmetro maior que $150\mu\text{m}$, com representação próxima à 20%.

♦ *Areia de leito de rio*

A curva granulométrica dos finos da areia de leito de rio permite a visualização de uma distribuição granulométrica relativamente boa, com partículas presentes em boa parte do intervalo de diâmetro analisado. As partículas têm representação de diâmetros desde $0,31\mu\text{m}$ (0,04%) até $351,46\mu\text{m}$ (0,70%).

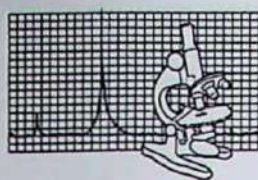
A curva não mostra crescimento abrupto; ao contrário, cresce suavemente à medida que o diâmetro das partículas cresce (Figura 25). Sua maior porcentagem em intervalo, é de 9,96% para diâmetros entre $120,67\mu\text{m}$ e $140,58\mu\text{m}$, que correspondeu a 66,58% de acumulada abaixo.

Nesta amostra, a porcentagem de material com diâmetro maior que $150\mu\text{m}$ mostra-se bastante parecida com a da areia eólica, ao redor de 20%.

♦ *Areia de moagem de quartzito*

A distribuição granulométrica dos finos da areia de moagem de quartzito é bastante diferente se comparada às das outras areias. O que chama mais a atenção é a divisão em praticamente dois grupos de diâmetros de partículas: um ao redor de $10\mu\text{m}$ e o outro ao redor de $100\mu\text{m}$ (Figura 26). As partículas do primeiro grupo apresentam a maior porcentagem em intervalo, igual a 3,69% para diâmetros entre $14,22\mu\text{m}$ e $16,57\mu\text{m}$ (porcentagem abaixo acumulada correspondente a 31,72%). As partículas concentradas no segundo grupo mostram maior porcentagem igual a 6,05% para diâmetros entre $120,67\mu\text{m}$ e $140,58\mu\text{m}$ (porcentagem abaixo acumulada correspondente a 84,42%). Com estes resultados, a curva gerada apresenta desenho próximo à uma reta, já que há dois grupos dividindo a distribuição da granulometria. Apesar destes fatos, não deixa de ser uma distribuição granulométrica razoável, com boa distribuição de partículas ao longo do intervalo de diâmetro analisado.

As partículas têm representação de diâmetros desde $0,13\mu\text{m}$ (0,01%) até $301,68\mu\text{m}$ (0,48%). Há presença de material com diâmetro maior que $150\mu\text{m}$, com representação próxima de 10%.



LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (0XX11) 3818-5151, 3818-5551 e 3818-5787

e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Detalhes da Amostra

Histórico: Certificado:865/00

Run Number: 20

Medida:

Arquivo: 865-00

Record Number: 21

Análise: Thu 26 de Oct de 2000 15:45

Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\

Fonte de Resultados: Média

Notas: AMOSTRA: leite de rio Registro/SP -100#

CLIENTE: LIZ DE MELLO ZANCHETTA

Meio de dispersão: Água deionizada Dispersante:Calgon

Ultrassom: 30 segundos Velocidade da Bomba:2500

Detalhes do Sistema

Sampler:

Measured Beam Obscuration: 15.9 %

Presentation: 50JD

[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Analysis Model: Polydisperse

Residual: 0.775 %

Modifications: None

Resultados Estatísticos

Tipo de Distribuição: Volume

Concentração = 0.0735 %Vol

Densidade = 2.650 g / cm³

Área Superf.Espec. = 0.0797 m² / g

Díametros Médios:

D (v, 0.1) = 21.84 µm

D (v, 0.5) = 107.99 µm

D (v, 0.9) = 212.90 µm

D [4, 3] = 114.35 µm

D [3, 2] = 28.42 µm

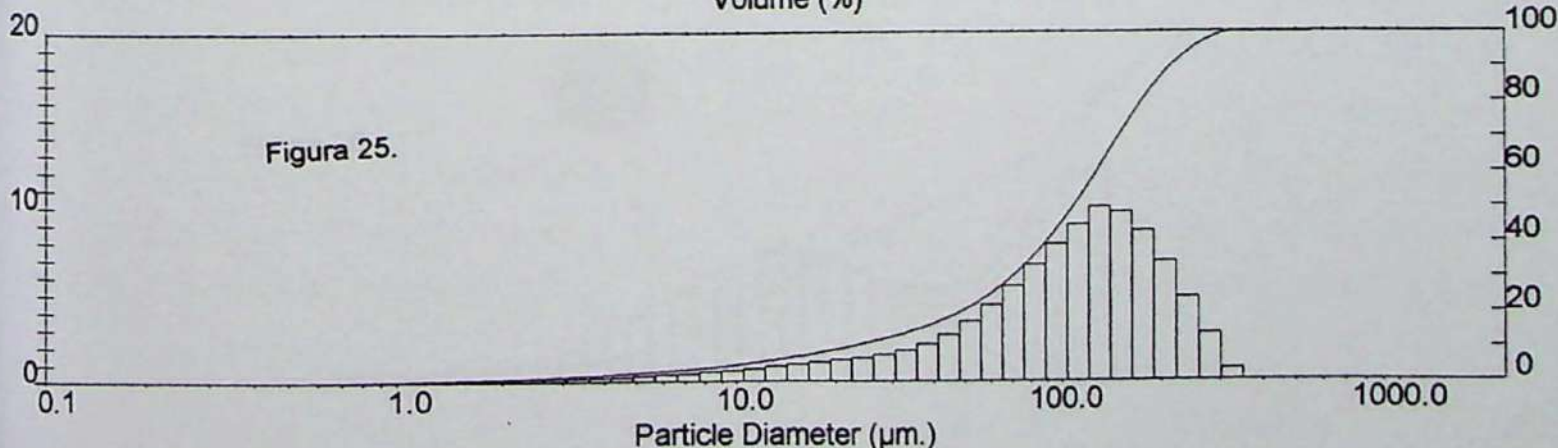
Span = 1.769E+00

Uniformidade = 5.341E-01

Diam.Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super.(µm)	Acum. Abaixo%	Diam.Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super.(µm)	Acum. Abaixo%
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	0.43	6.63	3.41
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	0.50	7.72	3.91
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	0.58	9.00	4.49
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	0.68	10.48	5.17
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	0.78	12.21	5.95
0.11	0.00	0.13	0.00	12.21	0.90	14.22	6.85
0.13	0.00	0.15	0.00	14.22	1.02	16.57	7.86
0.15	0.00	0.17	0.00	16.57	1.14	19.31	9.00
0.17	0.00	0.20	0.00	19.31	1.26	22.49	10.25
0.20	0.00	0.23	0.00	22.49	1.39	26.20	11.64
0.23	0.00	0.27	0.00	26.20	1.56	30.53	13.20
0.27	0.00	0.31	0.00	30.53	1.81	35.56	15.01
0.31	0.04	0.36	0.04	35.56	2.17	41.43	17.18
0.36	0.05	0.42	0.09	41.43	2.71	48.27	19.89
0.42	0.05	0.49	0.14	48.27	3.44	56.23	23.33
0.49	0.06	0.58	0.21	56.23	4.38	65.51	27.70
0.58	0.08	0.67	0.28	65.51	5.47	76.32	33.18
0.67	0.09	0.78	0.38	76.32	6.66	88.91	39.83
0.78	0.11	0.91	0.48	88.91	7.84	103.58	47.67
0.91	0.12	1.06	0.61	103.58	8.95	120.67	56.62
1.06	0.13	1.24	0.74	120.67	9.96	140.58	66.58
1.24	0.14	1.44	0.88	140.58	9.69	163.77	76.27
1.44	0.15	1.68	1.03	163.77	8.60	190.80	84.88
1.68	0.16	1.95	1.19	190.80	6.86	222.28	91.74
1.95	0.17	2.28	1.37	222.28	4.81	258.95	96.55
2.28	0.19	2.65	1.55	258.95	2.75	301.68	99.30
2.65	0.21	3.09	1.77	301.68	0.70	351.46	100.00
3.09	0.24	3.60	2.01	351.46	0.00	409.45	100.00
3.60	0.28	4.19	2.28	409.45	0.00	477.01	100.00
4.19	0.32	4.88	2.61	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	0.37	5.69	2.98				

Volume (%)

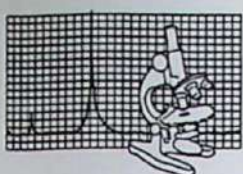
Figura 25.



Prof. Dr. Henrique Kehn

Prof. Dr. Henrique Kehn
Coordenador do LCT-EPUSP

Adquirida do LCT-EPUSP



LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São PauloAv. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (0XX11) 3818-5151, 3818-5551 e 3818-5787e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (0XX11) 3815-5785

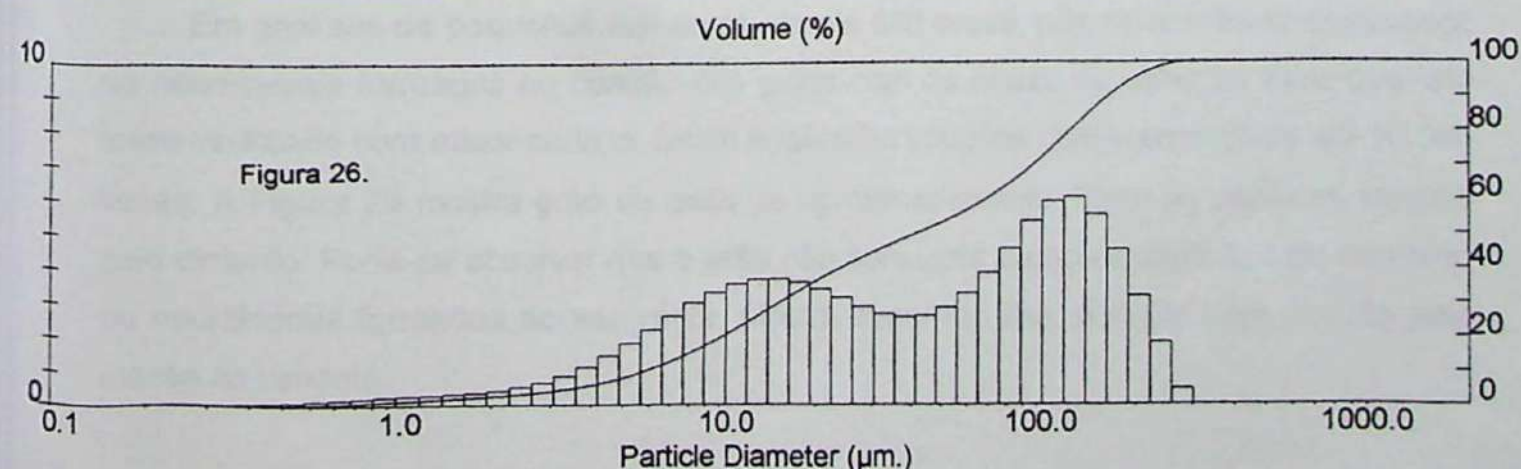
RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Detalhes da Amostra		
Histórico: Certificado: 864/00	Run Number: 21	Medida:
Arquivo: 864-00	Record Number: 23	Análise: Mon 16 de Oct de 2000 16:03
Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\		Fonte de Resultados: Média
Notas: AMOSTRA: moagem qzito Pirapora/SP -100#		
CLIENTE: LIZ DE MELLO ZANCHETTA		
Meio de dispersão: Água deionizada	Dispersante: Calgon	
Ultrassom: 30 segundos	Velocidade da Bomba: 2500	

Detalhes do Sistema		Measured Beam Obscuration: 14.5 %
Sampler:		
Presentation: 50JD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 0.368 %
Modifications: None		

Resultados Estatísticos			
TTipo de Distribuição: Volume	Concentração = 0.0248 %Vol	Densidade = 2.650 g / cm ³	Área Superf. Espec. = 0.2099 m ² / g
CDiâmetros Médios:	D (v, 0.1) = 5.82 µm	D (v, 0.5) = 41.60 µm	D (v, 0.9) = 163.85 µm
CD [4, 3] = 66.92 µm	D [3, 2] = 10.79 µm	Span = 3.799E+00	Uniformidade = 1.250E+00

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	2.20	6.63	11.89
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	2.61	7.72	14.50
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	2.99	9.00	17.49
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	3.31	10.48	20.80
0.09	0.00	0.11	0.00	10.48	3.55	12.21	24.34
0.11	0.00	0.13	0.01	12.21	3.68	14.22	28.03
0.13	0.01	0.15	0.02	14.22	3.69	16.57	31.72
0.15	0.02	0.17	0.03	16.57	3.59	19.31	35.32
0.17	0.03	0.20	0.06	19.31	3.39	22.49	38.71
0.20	0.05	0.23	0.11	22.49	3.13	26.20	41.84
0.23	0.06	0.27	0.17	26.20	2.87	30.53	44.71
0.27	0.06	0.31	0.23	30.53	2.66	35.56	47.37
0.31	0.07	0.36	0.29	35.56	2.56	41.43	49.93
0.36	0.08	0.42	0.37	41.43	2.62	48.27	52.55
0.42	0.10	0.49	0.47	48.27	2.85	56.23	55.40
0.49	0.12	0.58	0.60	56.23	3.27	65.51	58.67
0.58	0.16	0.67	0.75	65.51	3.85	76.32	62.52
0.67	0.19	0.78	0.94	76.32	4.56	88.91	67.08
0.78	0.22	0.91	1.17	88.91	5.36	103.58	72.44
0.91	0.26	1.06	1.42	103.58	5.94	120.67	78.37
1.06	0.29	1.24	1.71	120.67	6.05	140.58	84.42
1.24	0.32	1.44	2.03	140.58	5.56	163.77	89.99
1.44	0.34	1.68	2.37	163.77	4.53	190.80	94.51
1.68	0.38	1.95	2.75	190.80	3.18	222.28	97.70
1.95	0.44	2.28	3.19	222.28	1.83	258.95	99.52
2.28	0.54	2.65	3.73	258.95	0.48	301.68	100.00
2.65	0.68	3.09	4.41	301.68	0.00	351.46	100.00
3.09	0.87	3.60	5.28	351.46	0.00	409.45	100.00
3.60	1.13	4.19	6.42	409.45	0.00	477.01	100.00
4.19	1.45	4.88	7.87	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	1.82	5.69	9.69				



Instruments Ltd.

Mastersizer Microplus Ver. 2.19
Serial Number:

(0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Prof. Dr. Henrique Kehn
Pesquisadora do LCT - EPUSPProf. Dr. Henrique Kehn
Coordenador do LCT-EPUSPp. 2
26 Oct 00 16:18

♦ Areia de desmonte hidráulico

Assim como a curva granulométrica da areia de britagem de rocha, a da areia de desmonte hidráulico mostra uma boa distribuição, apresentando partículas de diâmetros desde $0,11\mu\text{m}$ (0,01%) até $351,46\mu\text{m}$ (0,08%). A curva cresce suavemente à medida que ocorre o aumento do diâmetro das partículas e apresenta sua maior porcentagem em intervalo, valor igual a 6,95% para diâmetros entre $88,91\mu\text{m}$ e $103,58\mu\text{m}$ (porcentagem abaixo acumulada correspondente a 68,77%).

Ocorrem partículas com diâmetros desde $0,11\mu\text{m}$ (0,01%) até $351,46\mu\text{m}$ (0,08%). Há aproximadamente 12% de material com diâmetro maior que $150\mu\text{m}$.

A Figura 27 apresenta a distribuição e a curva granulométrica deste material.

7.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

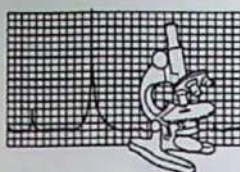
As lâminas analisadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura foram fontes de imagens que tiveram como principais objetivos avaliar o envolvimento dos grãos de areia pelo cimento e a formação de neominerais a partir de reação entre o agregado e álcalis do cimento.

Baseando-se nas imagens, foram feitas análises químicas de algumas regiões das lâminas onde pode-se observar uma maior área constituída pela massa de cimento ao redor dos grãos.

A imagem da Figura 28 mostra argamassa elaborada com areia de britagem de rocha, com aumento de 55 vezes. Pode-se observar o bom envolvimento dos grãos de areia pelo cimento representado pela massa de cor cinza mais escuro, sem que nenhuma superfície ficasse sem contato com esta massa. Isto pode ser visto tanto para os grãos maiores como para os menores. Este perfeito envolvimento permite que a argamassa apresente uma melhor resistência, pois não ocorrem vazios ou eventuais zonas de fraqueza.

É possível também observar nesta massa, a presença de grãos mais angulosos, o que favorece o embricamento dos mesmos.

Em análises de pequenos aumentos, de até 500 vezes, não se constatou a presença de neominerais formados no contato dos grãos com os álcalis de cimento. Para que isto fosse verificado com maior certeza, foram analisadas imagens com aumentos de até 10.000 vezes. A Figura 29 mostra grão de areia de aproximadamente $12\mu\text{m}$ de diâmetro, envolto pelo cimento. Pode-se observar que o grão não apresenta qualquer superfície de corrosão ou neominerais formados ao seu redor. Mostra superfície lisa, e muito bem envolto pela massa de cimento.



LCT

Laboratório de Caracterização Tecnológica - Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da Universidade de São PauloAv. Prof. Mello Moraes, 2373 - 05508-900 São Paulo - SP
TEL: (0XX11) 3818-5151, 3818-5551 e 3818-5787e-mail: lct@poli.usp.br
FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Detalhes da Amostra		
Histórico: Certificado:866/00	Run Number: 19	Medida:
Arquivo: 866-00	Record Number: 20	Análise: Thu 26 de Oct de 2000 15:52
Sample Path: C:\SIZERMP\DATA\		Fonte de Resultados: Média
Notas: AMOSTRA: D.H. Barueri/SP -100#		
CLIENTE: LIZ DE MELLO ZANCHETTA		
Meio de dispersão: Água deionizada	Dispersante: Calgon	
Ultrassom: 30 segundos	Velocidade da Bomba: 2500	

Detalhes do Sistema		Measured Beam Obscuration: 16.1 %
Sampler:		
Presentation: 5OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 0.201 %
Modifications: None		

Resultados Estatísticos			
Tipo de Distribuição: Volume	Concentração = 0.0414 %Vol	Densidade = 2.650 g / cm ³	Área Superf. Espec. = 0.1378 m ² / g
Diâmetros Médios:	D (v, 0.1) = 10.81 µm	D (v, 0.5) = 67.28 µm	D (v, 0.9) = 174.76 µm
D [4,3] = 81.70 µm	D [3,2] = 16.43 µm	Span = 2.437E+00	Uniformidade = 7.519E-01

Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %	Diam. Inferior (µm)	No Intervalo %	Diam. Super. (µm)	Acum. Abaixo %
0.05	0.00	0.06	0.00	5.69	0.89	6.63	6.16
0.06	0.00	0.07	0.00	6.63	1.03	7.72	7.19
0.07	0.00	0.08	0.00	7.72	1.18	9.00	8.37
0.08	0.00	0.09	0.00	9.00	1.34	10.48	9.71
0.09	0.00	0.11	0.01	10.48	1.51	12.21	11.21
0.11	0.01	0.13	0.01	12.21	1.69	14.22	12.90
0.13	0.01	0.15	0.03	14.22	1.90	16.57	14.81
0.15	0.02	0.17	0.04	16.57	2.14	19.31	16.95
0.17	0.02	0.20	0.07	19.31	2.43	22.49	19.38
0.20	0.03	0.23	0.10	22.49	2.77	26.20	22.15
0.23	0.03	0.27	0.13	26.20	3.17	30.53	25.31
0.27	0.03	0.31	0.17	30.53	3.63	35.56	28.95
0.31	0.05	0.36	0.22	35.56	4.16	41.43	33.11
0.36	0.05	0.42	0.27	41.43	4.72	48.27	37.83
0.42	0.06	0.49	0.33	48.27	5.29	56.23	43.12
0.49	0.08	0.58	0.41	56.23	5.81	65.51	48.93
0.58	0.10	0.67	0.51	65.51	6.26	76.32	55.19
0.67	0.12	0.78	0.63	76.32	6.62	88.91	61.82
0.78	0.15	0.91	0.77	88.91	6.95	103.58	68.77
0.91	0.17	1.06	0.94	103.58	6.86	120.67	75.63
1.06	0.19	1.24	1.14	120.67	6.47	140.58	82.09
1.24	0.22	1.44	1.35	140.58	5.75	163.77	87.84
1.44	0.24	1.68	1.59	163.77	4.77	190.80	92.61
1.68	0.26	1.95	1.85	190.80	3.61	222.28	96.23
1.95	0.29	2.28	2.14	222.28	2.43	258.95	98.66
2.28	0.33	2.65	2.47	258.95	1.25	301.68	99.92
2.65	0.39	3.09	2.85	301.68	0.08	351.46	100.00
3.09	0.46	3.60	3.31	351.46	0.00	409.45	100.00
3.60	0.54	4.19	3.86	409.45	0.00	477.01	100.00
4.19	0.65	4.88	4.51	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	0.77	5.69	5.27				

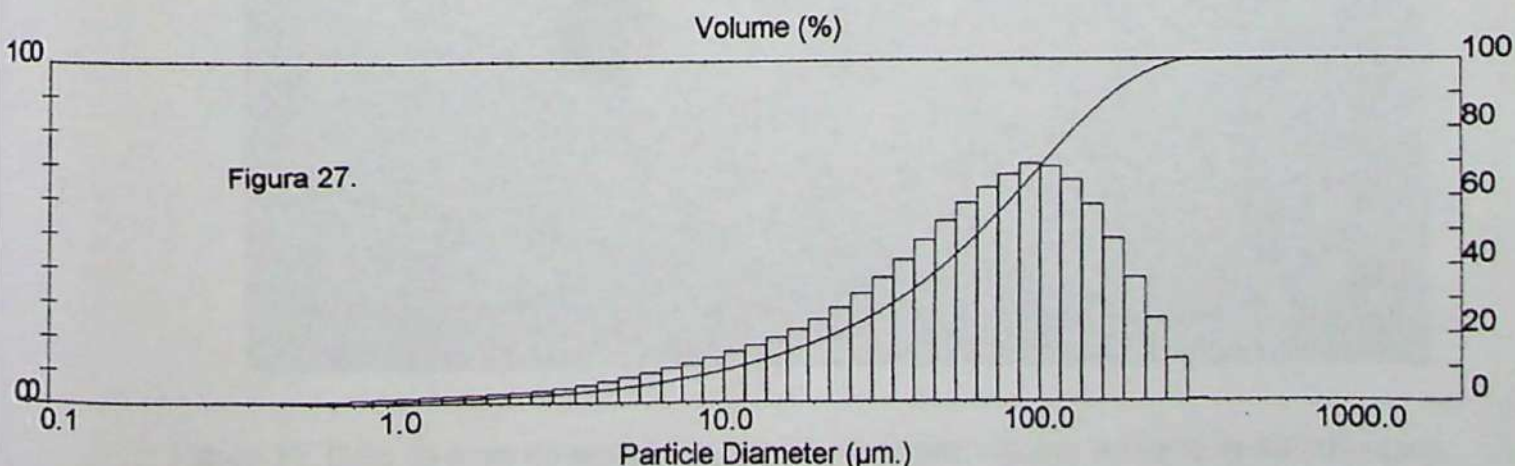




Figura 28. Argamassa elaborada com areia de britagem de rocha. Aumento de 55 vezes. Observar a forma dos grãos, a distribuição granulométrica e o seu envolvimento pela massa de cimento.

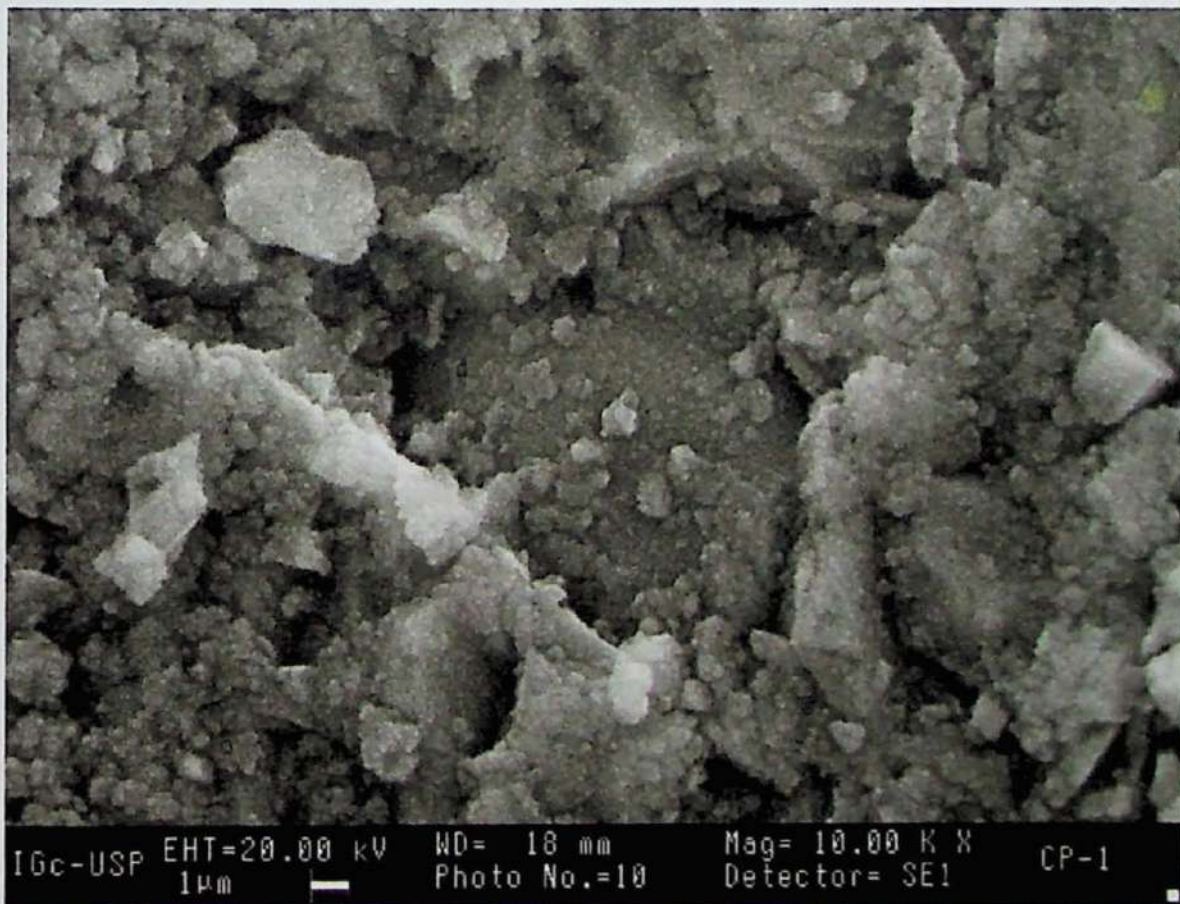


Figura 29. Grão de areia de britagem de rocha envolto pelo cimento. Aumento de 10.000 vezes. Observar superfície lisa do grão e ausência de neominerais ao seu redor.

Através de análise química realizada em pontos distintos de algumas lâminas, pôde ser constatada a presença do cimento envolvendo praticamente todos os grãos.

A imagem da Figura 30, lâmina de argamassa preparada com areia de leito de rio, mostra massa de cimento com prováveis cristais de silicato de cálcio formados na superfície deste cimento. Isto pode ser verificado pela química determinada pelo Microscópio Eletrônico de Varredura do ponto 1 (Figura 31). O elemento predominante neste ponto é o cálcio, seguido de oxigênio e silício o que pode indicar a formação deste silicato na superfície do cimento.

Os outros pontos marcados na Figura 30, apesar de apresentarem diferenças de tom de cinza, são da mesma área onde ocorre presença de cimento e apresentam pequenas diferenças de composição. O ponto 2, além do cálcio, oxigênio e silício, mostra também alumínio, magnésio, sódio, potássio e ferro, em quantidades diferentes (Figura 32). Já o ponto 3 apresenta cloro, apesar de quantidade bem pequena, e o cálcio, oxigênio e silício apresentam quantidade altas (Figura 33).

Esta composição química apresentada por estes três pontos da Figura 30 é a esperada para o cimento, principalmente com altas taxas de cálcio.



Figura 30. Massa de cimento da argamassa elaborada com areia de leito de rio. Aumento de 5.000 vezes. Observar microcristalização de silicato de cálcio no ponto 1.

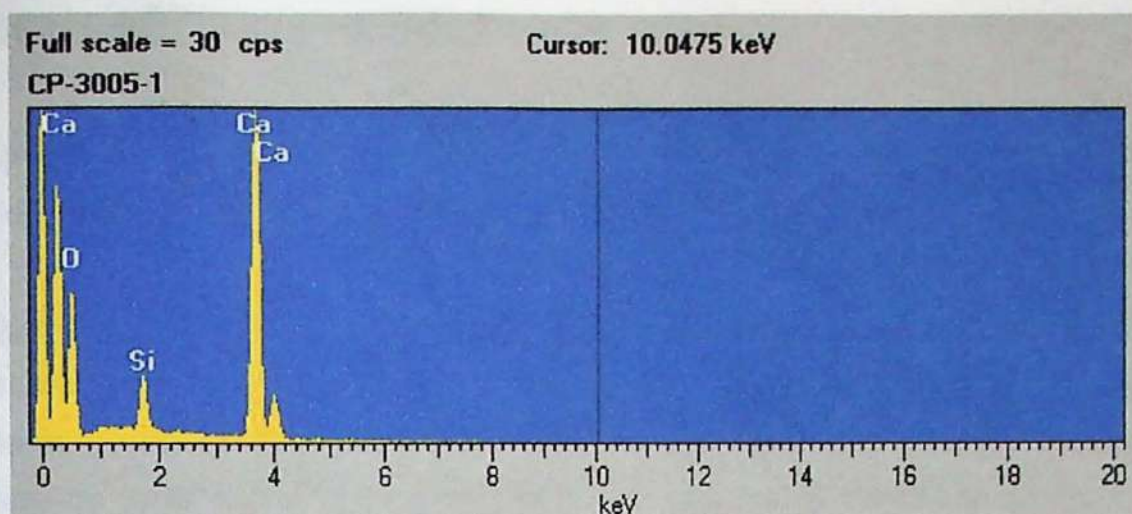


Figura 31. Análise química do ponto 1 assinalado na Figura 30. Observar presença marcante de cálcio, seguido por oxigênio e silício.

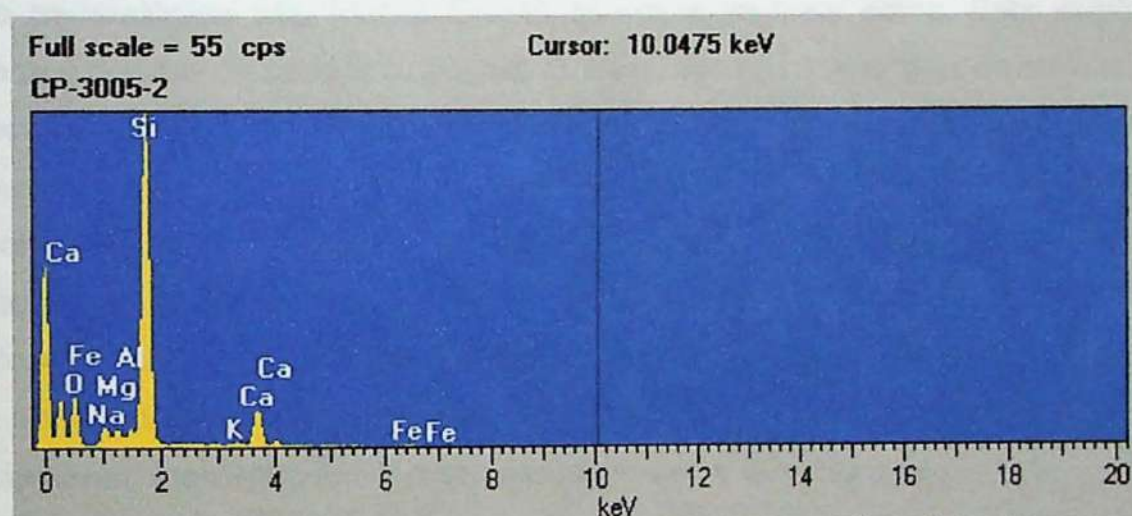


Figura 32. Análise química do ponto 2 assinalado na Figura 30. Silício, cálcio e oxigênio são acompanhados por alumínio, magnésio, sódio, potássio e ferro.

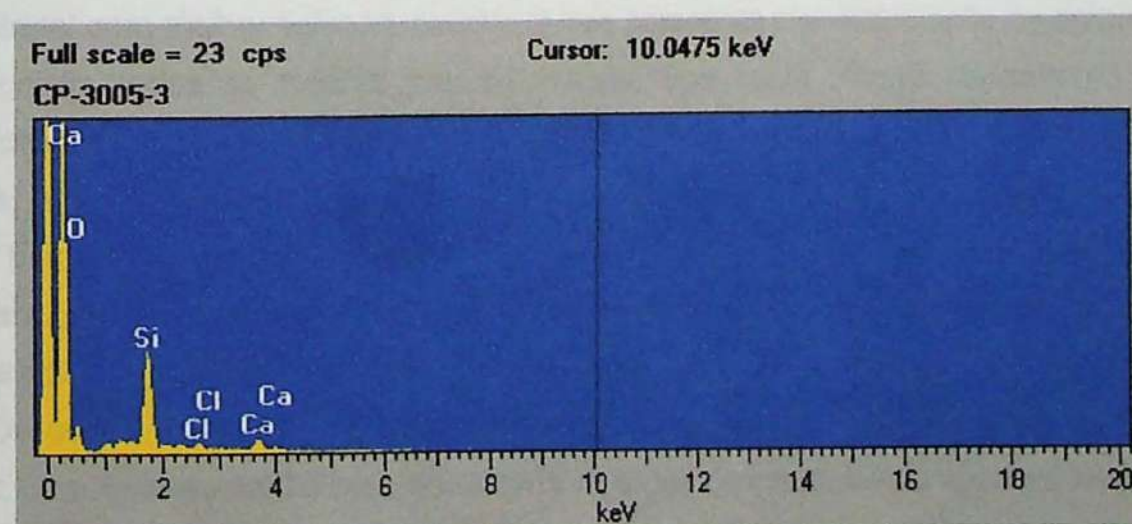


Figura 33. Análise química do ponto 3 assinalado na Figura 30. Cálcio e silício predominam e são acompanhados por oxigênio e cloro.

8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a apresentação dos resultados obtidos nos ensaios executados no âmbito deste projeto de pesquisa, algumas considerações devem ser feitas:

Sobre a densidade: as densidades determinadas para as areias estudadas apresentaram valores esperados, próximos ao valor da densidade do quartzo, já que a mineralogia predominante destas areias é representada por este mineral. O resultado da densidade da areia eólica ($2,63 \text{ g/cm}^3$) foi o mais próximo da densidade do quartzo ($2,65 \text{ g/cm}^3$). Este fato justifica-se pela alta seleção mineralógica deste tipo de areia, que mostra essencialmente quartzo em sua composição. As outras areias já não tiveram valores de densidade tão próximos aos do quartzo, pois apresentam mistura de mineralogia, ou seja, a seleção mineralógica não foi tão intensa quanto a da areia eólica. Esta seleção está associada à gênese de cada tipo de areia. O vento, agente transportador da areia eólica, faz tal seleção, pois possui energia de transporte restrita, carregando apenas uma estreita faixa de tamanho e peso de grãos. A água, agente transportador da areia de leito de rio, já apresenta energia de transporte não tão restrita, sendo capaz de transportar grãos de tamanho e peso mais variados. As outras três areias, de britagem de rocha, de moagem de quartzito e de desmonte hidráulico não sofrem seleção mineralógica como as anteriores, pois a rocha original passa apenas por processos de britagem / desmonte em seu beneficiamento, mantendo assim a densidade próxima a da rocha mãe.

Sobre a distribuição granulométrica: analisando-se os resultados da distribuição da granulometria das areias, pôde-se verificar que três tipos de areia mostraram melhor seleção granulométrica: areia eólica, de moagem de quartzito e de leito de rio. A areia eólica é o material com melhor seleção, ou seja, a que apresenta pior distribuição de granulometria ao longo de todas as frações granulométricas. Sua curva mostra crescimento abrupto evidenciando grande quantidade de material concentrado apenas em uma malha de peneira, a #100 (0,15mm). As areias de leito de rio e de moagem de quartzito possuem curvas bastante parecidas, com distribuição pouco melhor se comparadas à da areia eólica. Possuem grande quantidade de material concentrado em apenas três malhas, #28, #48 e #100, e por isso, não mostram uma distribuição homogênea.

Os outros dois tipos de areia apresentaram uma distribuição granulométrica muito melhor, com representação mais equilibrada de todos os intervalos de abertura de peneiras. Portanto, são consideradas como material de má seleção granulométrica e suas curvas de distribuição mostram crescimento mais suave.

Um dado a ser comentado refere-se à porcentagem em peso do material mais fino, menor que 0,15mm ($< \#100$) da areia de britagem de rocha: mostrou valor igual a 22,9%, taxa relativamente alta se compararmos com os outros tipos de areia, cujas porcentagens não ultrapassaram os 12,4% (areia eólica). Esta alta taxa de finos na areia de britagem de rocha pode ser a explicação dos resultados do ensaio de índice de forma e textura terem sido considerados inconclusivos. A alta taxa de finos neste tipo de areia pode ter alterado os resultados deste ensaio, pois proporcionou uma alta compactação da areia e conseqüente diminuição do volume de vazios tanto aos 10 golpes como aos 50 golpes. Com relação à alta resistência à compressão simples apresentada pela argamassa preparada com esta areia, a porcentagem de finos deve ter sido o principal motivo dos valores mais altos, pois a distribuição granulométrica apresentada possibilita o preenchimento dos vazios deixados pelos grãos maiores, não sendo portanto, estes espaços ocupados pela massa de cimento. Esta melhor distribuição do ligante possibilita, em princípio, o envolvimento de todos os grãos do agregado por fina película de ligante, resultando assim, em maiores valores de resistência. Daí, depreende-se que é possível atingir resistências altas para as argamassas com traços elaborados com menores quantidades de cimento.

Ainda com relação à distribuição granulométrica das areias, o Módulo de Finura também foi útil no entendimento dos resultados obtidos em todo o trabalho. As areias que apresentaram melhor seleção granulométrica (pior distribuição) são as que possuem, relativamente, os menores Módulos de Finura: por ordem crescente de módulo temos: areia eólica (1,13), de leito de rio (2,07) e moagem de quartzito (2,31). Se observarmos as curvas granulométricas juntas, verifica-se que nesta mesma ordem ocorre a melhoria da distribuição de granulometria. Portanto, nas areias estudadas, quanto maior o Módulo de Finura, melhor é a distribuição granulométrica, podendo-se exemplificar a areia de desmonte hidráulico, cujo Módulo de Finura é 2,85, o maior.

Sobre a resistência à compressão simples: após a obtenção dos resultados de resistência à compressão para os três períodos predeterminados de cura, 7, 28 e 90 dias, algumas considerações podem ser feitas comparando-se as argamassas preparadas com os diferentes tipos de areia e aquela elaborada com areia padrão.

Primeiramente, destaca-se a argamassa de areia de britagem de rocha, por apresentar valores de resistência à compressão simples bem mais altos nos três períodos de cura. Aos 90 dias, esta argamassa mostrou resistência de 8,62 MPa, valor maior que o dobro da resistência da argamassa preparada com areia de desmonte hidráulico (segunda maior resistência à ruptura). As demais argamassas, apresentaram valores muito próximos para os três períodos, inclusive a de areia padrão, situando-se, a resistência desta última, abaixo daquela mostrada pela argamassa de areia de britagem de rocha, porém acima das argamassas elaboradas com as demais areias.

Deve-se inclusive, ressaltar o incremento destas resistências à ruptura ao longo do tempo. A argamassa de areia de britagem de rocha apresentou um ganho de 147% de resistência após 90 dias de cura em relação à resistência mostrada aos 7 dias. Já as areias de leito de rio e de desmonte hidráulico mostraram um ganho muito maior: 262% e 212%, respectivamente. A argamassa elaborada com areia padrão apresentou um ganho de 113% de resistência aos 90 dias de cura com relação aos 7 dias.

A análise dos valores absolutos, mostra que a areia de leito de rio, apesar de ter apresentado o maior incremento de resistência nos períodos de cura, foi a que mostrou menor valor absoluto de todas as argamassas, nos três períodos. A areia padrão mostrou valores absolutos maiores que as demais areias, exceto da areia de britagem de rocha, também nos três períodos de cura.

Deve-se destacar que as altas resistências finais de argamassa de areia de britagem de rocha, praticamente o dobro das demais argamassas deve-se, como já dito anteriormente, à quantidade de material fino presente na amostra. Outro fator também já comentado, e que causa o aumento da resistência à compressão, é a presença de material angular-subangular na amostra, que gera um embricamento dos grãos na argamassa tornando-a resistente e impedindo, inclusive, rotação dos grãos na massa em ruptura.

Com relação à consistência das argamassas, todos os tipos de areia estudados formaram massas que não impuseram dificuldades na determinação de sua consistência (ensaio de "flow table"). Mesmo assim, é possível observar que dentro do intervalo exigido de 255 ± 10 mm (ABNT (1995a): Argamassa para assentamento em paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência – Padrão (NBR-13276)), o diâmetro do disco da argamassa de areia de britagem de rocha foi o menor (245mm), podendo ser justificado pela presença de material angular-subangular que proporciona o melhor embricamento dos grãos, e portanto, maior dificuldade de espalhamento na mesa de "flow" e conseqüentemente, na prática menor trabalhabilidade na preparação da massa.

Sobre a forma e textura dos grãos: a areia de britagem de rocha foi a única que apresentou material angular nas frações granulométricas analisadas em lupa. Os grãos angulares estão presentes somente na #28, e os subangulares estão tanto na #48 como na #100. A areia de desmonte hidráulico também apresentou grãos subangulares na malha #48, apesar de uma quantidade muito pequena. Analisando-se estes dados em conjunto com a distribuição granulométrica, constata-se que as duas areias que mostraram boa distribuição granulométrica foram as mesmas que apresentaram grãos angulares-subangulares: a de britagem de rocha e a de desmonte hidráulico. Já as que possuem má distribuição granulométrica, e portanto são bem selecionadas granulometricamente, mostram grãos variando somente de subarredondado a bem arredondado. A areia eólica, a

que possui melhor seleção de grãos, tem somente material arredondado e bem arredondado. Já a areia de leito de rio e de moagem de quartzito são muito parecidas, apresentando materiais subarredondados, arredondados e bem arredondados.

A respeito da esfericidade, três tipos de areia apresentaram média esfericidade (areia de britagem de rocha, de leito de rio e de moagem de quartzito). Os outros dois tipos de areia, eólica e de desmonte hidráulico, mostraram média-alta esfericidade.

Sobre a determinação da granulometria por difração laser: com os resultados obtidos da distribuição granulométrica do material mais fino ($< 0,15\text{mm}$) de todas as amostras analisadas, houve apenas um reforço do que foi discutido anteriormente sobre a distribuição da granulometria do material como um todo. Pelas curvas geradas nesta análise, pode-se afirmar que as areias de desmonte hidráulico e de britagem de rocha mostram as melhores distribuições granulométricas e portanto, as melhores curvas de distribuição, bem equilibradas (material representativo em praticamente todos os intervalos de diâmetro de partícula) e com crescimento suave. Ao contrário das outras três amostras, areia eólica, de leito de rio e de moagem de quartzito, que apresentam boa seleção e portanto, má distribuição granulométrica, com curvas de crescimento abrupto, concentrando a maior parte do material em poucos intervalos de diâmetro de partículas.

A areia que chamou a atenção neste ensaio foi a de moagem de quartzito que além de apresentar uma distribuição granulométrica ruim, mostrou concentração de material em dois intervalos de diâmetros diferentes, um mais próximo de $10\mu\text{m}$ e outro mais próximo de $100\mu\text{m}$.

Sobre a microscopia eletrônica de varredura: Com a análise das imagens geradas a partir das lâminas delgadas dos corpos de prova de argamassa, dois fatos principais puderam ser constatados. Primeiro, o bom envolvimento dos grãos de areia pelo cimento, proporcionando argamassas de boa qualidade, com resistências à ruptura dentro dos parâmetros determinados pelas normas. Segundo, a não formação de neominerais, pelo menos na argamassa de areia de britagem de rocha, quando do contato dos grãos do agregado com álcalis do cimento.

9. CONCLUSÕES

Tomando como base todos os dados obtidos e discutidos, pode-se concluir que as areias estudadas neste projeto se prestam à utilização para preparação de argamassas.

Mas como o enfoque principal deste trabalho era mostrar a possibilidade de que a areia resultante da britagem de rocha granítica-gnáissica pudesse ser utilizada para

fabricação de argamassas, algumas características fundamentais desta areia, identificadas ao longo deste projeto, devem ser ressaltadas:

- boa distribuição granulométrica, o que permite melhor preenchimento de vazios deixados por grãos maiores e portanto, elaboração de argamassas com menores quantidades de cimento;
- grau de arredondamento variável, apresentando grãos desde angulares até bem arredondados, característica importante no que diz respeito ao embricamento dos grãos. Quanto melhor o embricamento, mais resistente será a argamassa;
- não apresentou qualquer dificuldade na obtenção do índice de consistência da massa de argamassa ("flow");
- mostrou boa trabalhabilidade, pois os corpos de prova para determinação da resistência à compressão simples foram moldados sem qualquer dificuldade;
- mostrou valores de resistência à compressão simples relativamente altos quando comparados aos valores de resistência das outras areias analisadas, inclusive a areia padrão – IPT;
- os grãos foram totalmente envoltos pela massa de cimento, proporcionando assim, melhor ligação entre agregado e aglomerante e conseqüentemente, maior resistência da argamassa;
- não apresentou neominerais formados pelos grãos do agregado devido à reação com os álcalis do cimento.

É importante ressaltar que este material é considerado rejeito pelas minerações de brita, sendo portanto, pouco utilizado nas construções civis. A quantidade de finos gerada no processo de cominuição da rocha atinge entre 10 e 20% da quantidade de brita produzida. Dentro da Região Metropolitana da Grande São Paulo, operam aproximadamente 40 minerações de brita que geram estes chamados finos de pedreira e que causam poluição visual, assoreamento de drenagens, emissão de material particulado na atmosfera além de ocupar grandes áreas da própria mineração que são tomadas para estocar grandes quantidades deste material.

Portanto, tendo sido mostrado que a areia de britagem de rocha é um material adequado para o preparo de argamassas, espera-se que estes rejeitos venham a se constituir em subproduto da mineração. Este material terá assim um valor agregado e sua utilização reduzirá parte dos problemas ambientais, a partir do momento que as pilhas de estoque se esgotarem ou diminuirão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1982a): *Areia normal para ensaio de cimento – Especificação* (NBR-7214).
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1982b): *Agregado em estado solto - determinação da massa unitária* (NBR-7251).
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987a): *Amostragem de agregados – Procedimento* (NBR-7216).
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987b): *Agregados – determinação da composição granulométrica – Método de ensaio* (NBR-7217).
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991): *Cimento Portland Composto – Especificação* (NBR-11578).
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995a): *Argamassa para assentamento em paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência – Padrão* (NBR-13276).
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995b): *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à compressão simples - Método de Ensaio* (NBR-13279).
- AGOPYAN, V.** (1986). *A importância da pureza dos agregados para argamassas e concretos*. In: Simpósio Nacional de Agregados, 1. Anais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, SP. p. 115-119.
- AGRAWAL, Y. C.; MCCAVE, I. N. & RILEY, J. B.** (1991). *Laser diffraction size analysis*. In: Principles, methods and application of particle size analysis. Ed. James P. M. Syvitski. Cambridge University Press, New York. p.119-128.
- ANEPAC** – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. (2000). *Vale do Paraíba: maior região produtora de areia do país*. Publicação *Areia & Brita*. n.10, p.5-19.

- ASTM** - American Society for Testing and Materials. (1981). ASTM – D 3398-81 *Index of aggregate particle shape and texture*.
- BAUER, L. A. F.** (1994). *Materiais de construção*. Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, RJ. 5ed. v1 e 2.
- BORN, H.; SOARES, L. & BRAGA, J. M. S.** (1996). *Caracterização tecnológica dos materiais de construção de jazida localizada em área urbana, São Paulo-SP*. In: Congresso Ítalo-brasileiro de Engenharia de Minas, 4. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS; p.323-331.
- CARNEIRO, A. M. P.** (1999). *Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 169p. e anexos.
- CARNEIRO, A. M. P. & CINCOTTO, M. A.** (1997). *Distribuição granulométrica para argamassas*. In: *Techne*. n.27, p.29-31. São Paulo.
- CUCHIERATO, G. & SANT'AGOSTINO, L.** (2000). *Pó de pedra: produção na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e principais características*. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Práticas Recomendadas, 3. 06 de junho de 2000. São Paulo. Anais. p.125-126.
- FIORITO, A. J. S. I.** (1994). *Manual de argamassas e revestimentos – estudos e procedimentos de execução*. Projeto de Divulgação Tecnológica. Ed. PINI. São Paulo, SP.
- FUJIMURA, F.; SOARES, L.; HENNIES, W. T. & SILVA, M. A. R.** (1996). *Environmental issue and profitable uses of stone quarry fines*. In: SWEMP, 4. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. Ed. R.Ciccu. Cagliari, Italy; p.959-966.
- GONÇALES, M.; ARTHUSO, V.; DEGUTI, R. & OHASHI, T.** (2000). *Produção de areia de brita com qualidade*. Publicação da ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. *Areia & Brita*. n.10, p.20-25.

- IOSHIMOTO, E.** (1988). *Argamassas*. Apostila da disciplina Tecnologia e Materiais de Construção Civil II. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 35p.
- IOSHIMOTO, E.; SABBATINI, F. H.; DJANIKIAN, J. G. & AGOPYAN, V.** (s/d). *Agregados*. Apostila da disciplina Materiais de Construção Civil I. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 57p.
- IPT** – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (1981). *Mapa geológico do estado de São Paulo*. Divisão de Minas e Geologia Aplicada / Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 126p. Escala 1:500.000. IPT.
- KIHARA, Y.** (1986). *Reação álcali-agregado – aspectos mineralógicos*. In: Simpósio Nacional de Agregados, 1. Anais. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. p.127-141.
- LEICA QWIN** (1996). *User Guide*. In: Glossary of Image Analysis Terminology. Leica Imaging Systems Ltd. Cambridge. p. G-1 a G-30.
- MENDES, K. S.** (1999). *Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- RUSSELL, R. D. & TAYLOR, R. E.** (1937). *Bibliography on roundness and shape of sedimentary rock particles*. Rept. Comn. Sedimentation. 1936-1937. p. 65-80.
- SABBATINI, F. H.** (1986). *Agregados miúdos para argamassas de assentamento*. In: Simpósio Nacional de Agregados, 1. Anais. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. p. 17-25.
- SANT'AGOSTINO, L. M. & KAHN, H.** (1997). *Metodologia para caracterização tecnológica de matérias primas minerais*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. BT/PMI/069. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, SP. 29p.

- SBRIGHI** Neto, C. (1976). *A areia britada granítica como agregado para concreto*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1. Rio de Janeiro. Anais. São Paulo, ABGE, v.2, p.271-280.
- SBRIGHI** Neto, C. & **CARUSO**, L. G. (1977). *Um modelo de beneficiamento de areia natural para fins de padrão de laboratório*. In: Simpósio Brasileiro de Mineração, 7. Porto Alegre, RS. Anais; p.1-7.
- SBRIGHI** Neto, C. & **SOARES**, L. (1996). *The use of crushing rock dust in Portland cement concrete production*. In: SWEMP, 4. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production; Ed. R.Ciccu. Cagliari, Italy, p.1041-1048.
- SBRIGHI** Neto, C. (1998). *A importância dos conceitos geológicos na seleção de agregados para argamassas e concretos*. In: Ciclo de palestras sobre a geologia de engenharia aplicada à tecnologia de concreto. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, SP; 18p.
- SELMO**, S. M. S. (1986). *Agregados miúdos para argamassas de revestimento*. In: Simpósio Nacional de Agregados, 1. Anais. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. p. 27-43.
- SMITH**, M. R. & **COLLIS**, L. (1993). *Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes*. 2.ed. London, The Geological Society (Geological Society Engineering Geology Special Publication, nº 9).
- SOARES**, L.; **FUJIMURA**, F.; **HENNIES**, W. T. & **SILVA**, M. A. R. (1996a). *Change of natural sands by fine crushing material of granitic and gneissic rock quarries*. In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. Universidade de São Paulo, SP; p.701-706.
- SOARES**, L.; **BORN**, H. & **BRAGA**, J. M. S., (1996b). *Utilization of building material deposits in an urban area*. In: SWEMP, 4. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production; Ed. R.Ciccu. Cagliari, Italy, p.987-993.
- SOARES**, L.; **FUJIMURA**, F.; **BLASQUES JÚNIOR**, M.; **RACHEL**, R. M. & **BRAGA**, J. M. S. (1997). *Areias naturais: material de construção cada vez mais escasso na Região Metropolitana da Grande São Paulo*. In: Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, 2; São Paulo. Anais, São Paulo, ABM.

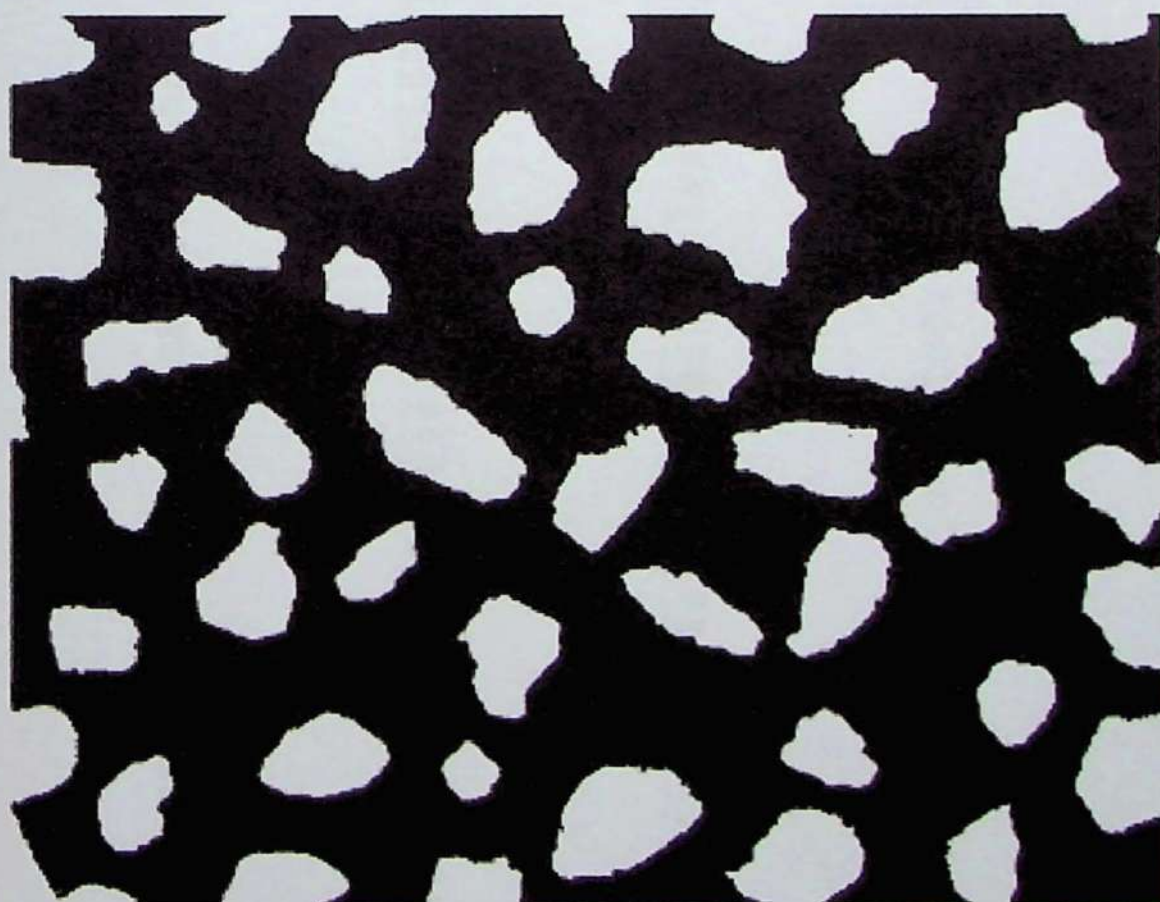
VALVERDE, F. M. (1999). *Mineração de areia e brita e a preservação ambiental*. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2. 09 de junho de 1999. São Paulo. Anais. p.87-101.

Anexo 1

Imagens e Tabelas – Avaliação por Microscopia Óptica



Grãos de areia de britagem de rocha representativos da malha #28 (0,6mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de britagem de rocha malha #28 (0,6mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de britagem de rocha malha #28 (0,6mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,181	0,732	0,7
2	0,17	0,65	0,7
3	0,31	1,077	0,5
4	0,359	1,016	0,7
5	0,853	1,463	0,7
6	0,668	1,118	0,8
7	0,962	1,402	0,8
8	1,326	1,463	0,9
9	0,664	1,28	0,7
10	1,007	1,382	0,8
11	1,18	1,443	0,9
12	1,123	1,707	0,7
13	0,775	1,362	0,8
14	1,51	2,825	0,5
15	2,355	2,967	0,6
16	2,019	2,378	0,7
17	0,65	1,138	0,8
18	1,985	2,439	0,7
19	1,273	1,87	0,7
20	1,292	1,85	0,6
21	2,028	2,683	0,5
22	0,64	1,016	0,9
23	0,44	0,915	0,8
24	0,927	1,321	0,8
25	1,263	1,524	0,8
26	1,533	1,585	0,8
27	1,343	1,545	0,8
28	1,431	1,606	0,8
29	2,658	2,927	0,6
30	1,148	1,382	0,8
31	0,935	1,545	0,8
32	0,604	0,996	0,9
33	0,694	1,077	0,8
34	1,739	1,89	0,8
35	2,136	2,358	0,8
36	0,973	1,585	0,7
37	1,768	2,378	0,7
38	0,009	0,305	0,2
39	0,25	1,098	0,5
40	0,551	1,402	0,6
41	0,624	1,341	0,7
42	0,524	1,098	0,6
43	0,328	0,833	0,8
44	1,093	1,382	0,8
45	2,204	1,992	0,9
46	1,69	1,707	0,8
47	2,025	1,89	0,7
48	0,002	0,122	0,4
49	0,956	1,484	0,7
50	3,254	2,581	0,7
51	0,585	1,057	0,8
52	0,641	0,955	0,9
53	0,487	0,935	0,8
54	1,101	1,829	0,6
55	2,89	2,703	0,6
56	1,431	1,809	0,7
57	0,002	0,061	0,7
58	0,933	1,28	0,9
59	1,564	2,093	0,6
60	2,22	2,5	0,6
61	0,712	1,138	0,8
62	1,094	1,504	0,7
63	1,042	1,402	0,8
64	1,549	1,951	0,7
65	0,68	1,362	0,7
66	1,349	1,545	0,8
67	1,231	2,175	0,6
68	1,538	1,911	0,7
69	0,868	1,26	0,8
70	1,18	1,626	0,8
71	1,481	1,646	0,7
72	0,891	1,179	0,8
73	0,902	1,382	0,7
74	1,31	1,748	0,8
75	0,419	0,833	0,9
76	1,474	1,748	0,8
77	0,856	1,382	0,7
78	2,171	2,236	0,7
79	1,697	1,87	0,8
80	0,008	0,244	0,3
81	0,233	0,915	0,5
82	0,509	0,996	0,8

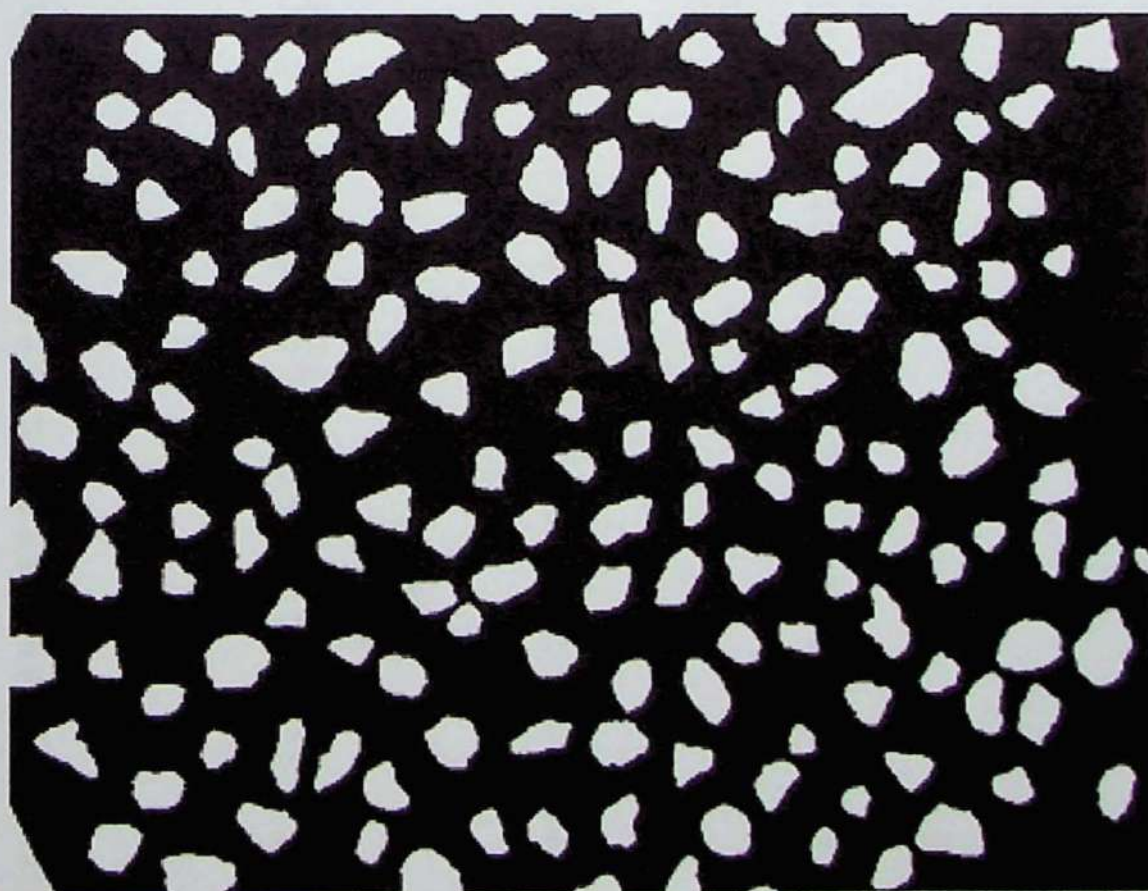
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de britagem de rocha malha #28 (0,6mm)

83	0,469	1,016	0,7
84	1,387	1,707	0,8
85	1,257	1,524	0,8
86	0,425	0,874	0,8
87	0,655	1,22	0,7
88	1,779	1,85	0,8
89	0,119	0,813	0,4
90	0,173	0,549	0,9
91	1,262	1,484	0,7
92	1,418	1,809	0,8
93	2,578	2,48	0,7
94	0,708	1,077	0,8
95	1,229	1,789	0,7
96	0,672	1,016	0,9
97	2,061	2,012	0,8
98	0,666	1,199	0,7
99	1,309	1,646	0,8
100	0,921	1,382	0,8
101	1,097	1,89	0,7
102	0,892	1,423	0,7
103	1,324	1,565	0,8
104	2,022	2,439	0,7
105	1,015	1,321	0,8
106	0,794	1,24	0,8
107	0,924	1,423	0,8
108	1,394	1,951	0,7
109	0,742	1,382	0,7
110	0,515	1,829	0,4
111	1,206	1,545	0,8
112	0,891	1,402	0,7
113	0,988	1,362	0,8
114	0,677	1,301	0,8
115	1,281	1,362	0,9
116	1,181	1,545	0,8
117	0,007	0,325	0,2
118	0,497	0,894	0,9
119	1,534	1,85	0,8
120	0,354	0,854	0,8
121	1,275	1,748	0,7
122	1,732	1,931	0,8
123	1,183	1,585	0,7
124	1,605	2,073	0,7
125	1,424	1,789	0,8
126	0,082	0,854	0,3
127	1,967	1,809	0,9
128	1,787	2,561	0,6
129	2,076	2,093	0,8
130	1,947	2,459	0,6
131	2,492	2,236	0,8

Média	1,126	1,526	0,7
Desvio Padrão	0,654	0,570	0,1
Máximo	3,254	2,967	0,9
Mínimo	0,002	0,061	0,2



Grãos de areia de britagem de rocha representativos da malha #48 (0,3mm)



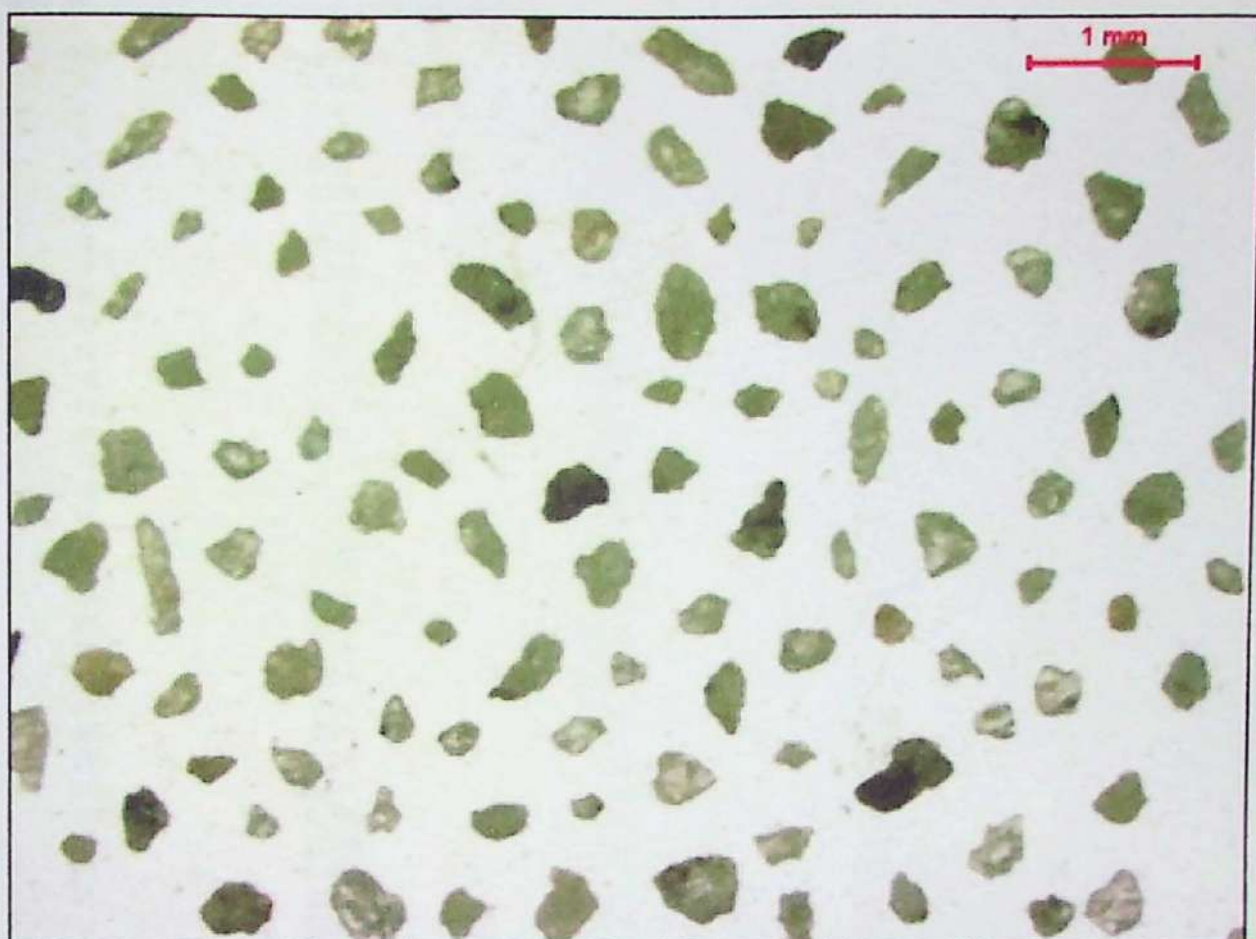
"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de britagem de rocha malha #48 (0,3mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de britagem de rocha malha #48 (0,3mm)

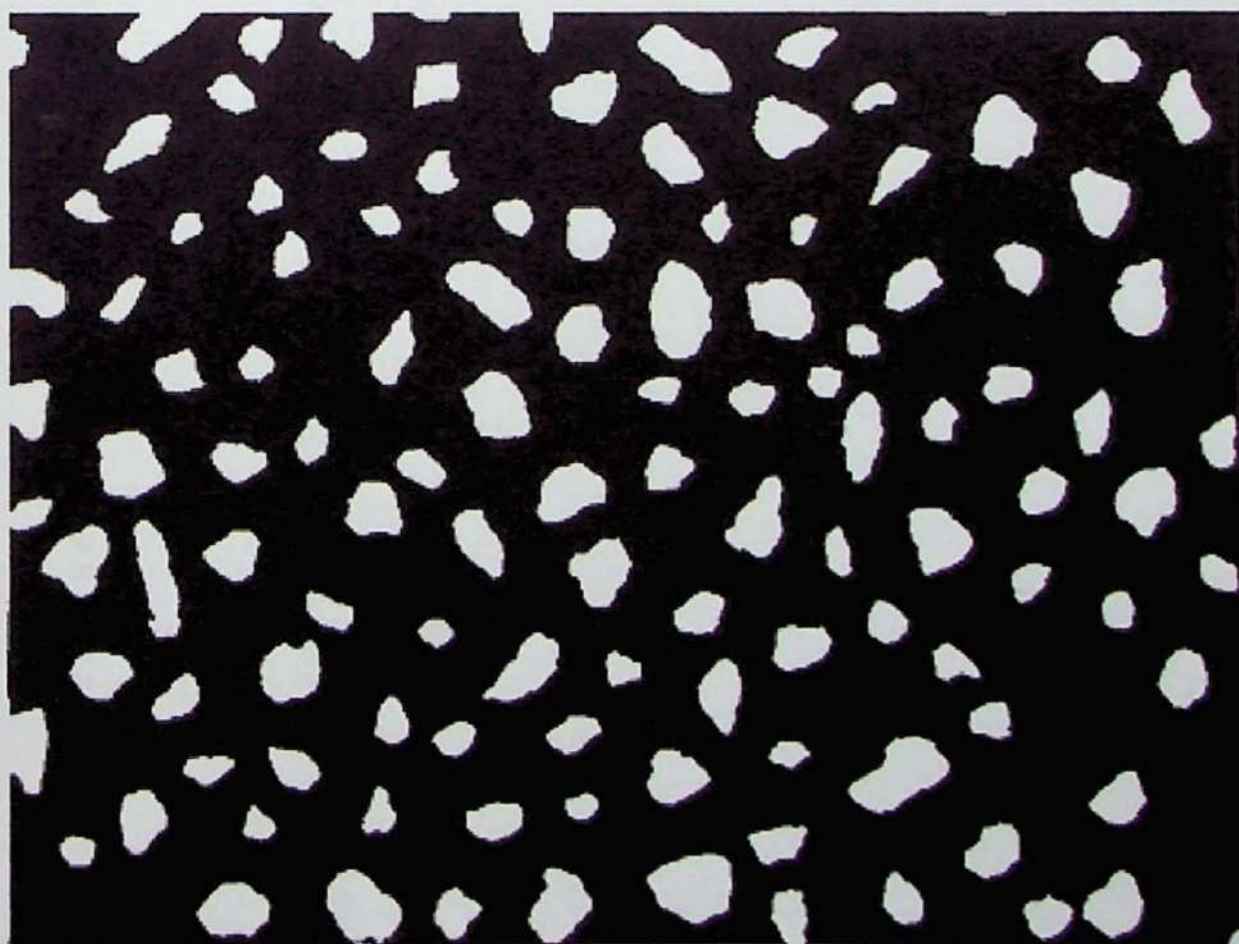
Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,013	0,264	0,4
2	0,031	0,386	0,5
3	0,031	0,407	0,4
4	0,045	0,386	0,6
5	0,088	0,589	0,6
6	0,137	0,61	0,6
7	0,174	0,589	0,7
8	0,285	0,793	0,8
9	0,214	0,63	0,9
10	0,362	0,833	0,8
11	0,213	0,65	0,9
12	0,183	0,549	0,9
13	0,238	0,752	0,8
14	0,333	0,813	0,8
15	0,48	1,098	0,7
16	0,26	0,752	0,8
17	0,178	0,63	0,8
18	0,204	0,569	0,9
19	0,411	0,915	0,8
20	0,847	1,524	0,8
21	0,276	0,793	0,8
22	0,235	0,671	0,8
23	0,194	0,589	0,9
24	0,173	0,671	0,7
25	0,374	0,854	0,8
26	0,274	0,935	0,6
27	0,151	0,508	0,8
28	0,144	0,528	0,8
29	0,178	0,691	0,8
30	0,361	0,854	0,8
31	0,155	0,569	0,8
32	0,186	0,528	0,9
33	0,288	0,772	0,8
34	0,284	0,813	0,8
35	0,448	0,955	0,8
36	0,21	0,61	0,8
37	0,216	0,61	0,9
38	0,396	0,793	0,8
39	0,294	0,833	0,8
40	0,357	0,915	0,8
41	0,261	0,894	0,7
42	0,478	1,057	0,7
43	0,36	1,037	0,7
44	0,185	0,569	0,8
45	0,287	0,711	0,9
46	0,129	0,447	0,8
47	0,224	0,711	0,8
48	0,166	0,508	0,9
49	0,241	0,671	0,8
50	0,385	0,894	0,9
51	0,234	0,813	0,7
52	0,168	0,63	0,8
53	0,412	0,996	0,8
54	0,224	0,589	0,8
55	0,335	0,874	0,8
56	0,352	0,874	0,8
57	0,408	0,935	0,8
58	0,351	0,854	0,8
59	0,19	0,61	0,8
60	0,292	0,813	0,8
61	0,225	0,711	0,8
62	0,422	0,976	0,8
63	0,166	0,549	0,8
64	0,365	0,935	0,8
65	0,432	1,138	0,6
66	0,642	1,301	0,7
67	0,197	0,691	0,8
68	0,375	0,854	0,8
69	0,528	0,955	0,8
70	0,295	0,711	0,8
71	0,435	0,935	0,8
72	0,201	0,63	0,9
73	0,126	0,447	0,9
74	0,184	0,63	0,8
75	0,376	0,915	0,7
76	0,166	0,569	0,9
77	0,406	0,833	0,9
78	0,171	0,549	0,9
79	0,172	0,549	0,9
80	0,255	0,793	0,8
81	0,252	0,65	0,8
82	0,183	0,589	0,9

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de britagem de rocha malha #48 (0,3mm)

83	0,516	1,077	0,8
84	0,169	0,65	0,8
85	0,22	0,63	0,8
86	0,196	0,589	0,9
87	0,283	0,772	0,8
88	0,228	0,711	0,8
89	0,205	0,589	0,9
90	0,169	0,63	0,8
91	0,338	0,772	0,8
92	0,174	0,569	0,8
93	0,183	0,528	0,9
94	0,235	0,65	0,8
95	0,369	0,955	0,7
96	0,141	0,488	0,9
97	0,333	0,772	0,9
98	0,232	0,772	0,8
99	0,249	0,833	0,7
100	0,217	0,732	0,7
101	0,068	0,427	0,8
102	0,29	0,894	0,7
103	0,198	0,671	0,8
104	0,208	0,589	0,9
105	0,149	0,528	0,8
106	0,31	0,793	0,7
107	0,404	0,955	0,7
108	0,177	0,549	0,9
109	0,382	0,955	0,8
110	0,347	0,874	0,8
111	0,322	0,833	0,8
112	0,255	0,813	0,8
113	0,2	0,61	0,7
114	0,159	0,508	0,9
115	0,192	0,671	0,7
116	0,378	1,016	0,6
117	0,17	0,63	0,8
118	0,25	0,63	0,9
119	0,004	0,183	0,3
120	0,487	0,955	0,9
121	0,15	0,528	0,8
122	0,361	0,833	0,8
123	0,483	0,874	0,9
124	0,573	1,057	0,9
125	0,205	0,589	0,8
126	0,302	0,732	0,9
127	0,3	0,732	0,9
128	0,194	0,61	0,9
129	0,388	0,976	0,8
130	0,281	0,691	0,8
131	0,332	0,854	0,8
132	0,323	0,833	0,8
133	0,266	0,935	0,6
134	0,119	0,447	0,8
135	0,179	0,549	0,9
136	0,373	0,833	0,8
137	0,38	0,752	0,9
138	0,318	0,935	0,6
139	0,229	0,691	0,7
140	0,289	0,935	0,7
141	0,304	1,016	0,6
142	0,242	0,711	0,8
143	0,201	0,61	0,8
144	0,281	0,691	0,8
145	0,278	0,732	0,8
146	0,27	0,732	0,8
147	0,128	0,447	0,8
148	0,28	0,772	0,8
149	0,279	0,752	0,8
150	0,342	0,813	0,8
151	0,224	0,691	0,8
152	0,236	0,691	0,8
153	0,386	0,793	0,9
154	0,492	0,976	0,8
155	0,183	0,589	0,8
156	0,153	0,528	0,9
157	0,335	0,752	0,9
158	0,257	0,732	0,8
Média	0,269	0,733	0,8
Desvio Padrão	0,121	0,190	0,1
Máximo	0,847	1,524	0,9
Mínimo	0,004	0,183	0,3



Grãos de areia de britagem de rocha representativos da malha #100 (0,15mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de britagem de rocha malha #100 (0,15mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de britagem de rocha malha #100

Grão	Area (mm²)	(0,15mm) Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,042	0,488	0,5
2	0,175	0,589	0,8
3	0,289	0,691	0,8
4	0,35	1,118	0,7
5	0,216	0,63	0,8
6	0,003	0,163	0,3
7	0,266	0,833	0,8
8	0,308	0,752	0,9
9	0,56	1,341	0,7
10	0,258	0,772	0,7
11	0,197	0,65	0,8
12	0,136	0,589	0,8
13	0,417	0,915	0,8
14	0,385	0,935	0,7
15	0,172	0,61	0,8
16	0,488	0,976	0,8
17	0,578	0,955	0,9
18	0,315	1,037	0,6
19	0,384	0,915	0,8
20	0,194	0,569	0,8
21	0,272	1,016	0,6
22	0,15	0,508	0,8
23	0,146	0,589	0,7
24	0,14	0,569	0,8
25	0,176	0,549	0,9
26	0,465	0,935	0,8
27	0,111	0,488	0,8
28	0,132	0,549	0,8
29	0,099	0,427	0,8
30	0,339	0,752	0,9
31	0,187	0,61	0,8
32	0,284	0,711	0,8
33	0,324	0,833	0,8
34	0,167	0,732	0,7
35	0,535	1,199	0,7
36	0,531	1,016	0,8
37	0,522	1,016	0,8
38	0,14	0,508	0,9
39	0,746	1,26	0,8
40	0,378	0,793	0,9
41	0,138	0,467	0,8
42	0,305	0,976	0,7
43	0,235	0,65	0,8
44	0,14	0,488	0,9
45	0,142	0,569	0,8
46	0,239	0,671	0,8
47	0,2	0,61	0,9
48	0,52	0,996	0,8
49	0,187	0,569	0,9
50	0,279	0,854	0,7
51	0,169	0,589	0,8
52	0,228	0,711	0,8
53	0,248	0,711	0,8
54	0,426	1,138	0,7
55	0,211	0,671	0,8
56	0,265	0,691	0,8
57	0,524	0,935	0,8
58	0,271	0,691	0,9
59	0,456	0,935	0,8
60	0,38	0,813	0,8
61	0,485	0,915	0,8
62	0,459	1,057	0,7
63	0,481	0,915	0,8
64	0,347	0,955	0,7
65	0,161	0,65	0,7
66	0,309	0,711	0,9
67	0,173	0,589	0,9
68	0,466	0,915	0,8
69	0,172	0,589	0,8
70	0,458	0,935	0,8
71	0,166	0,508	0,9
72	0,192	0,691	0,7
73	0,257	0,732	0,8
74	0,497	1,504	0,5
75	0,206	0,569	0,9
76	0,113	0,447	0,9
77	0,328	0,793	0,8
78	0,179	0,691	0,7
79	0,142	0,508	0,8
80	0,338	0,793	0,9
81	0,455	0,894	0,8
82	0,448	1,159	0,7

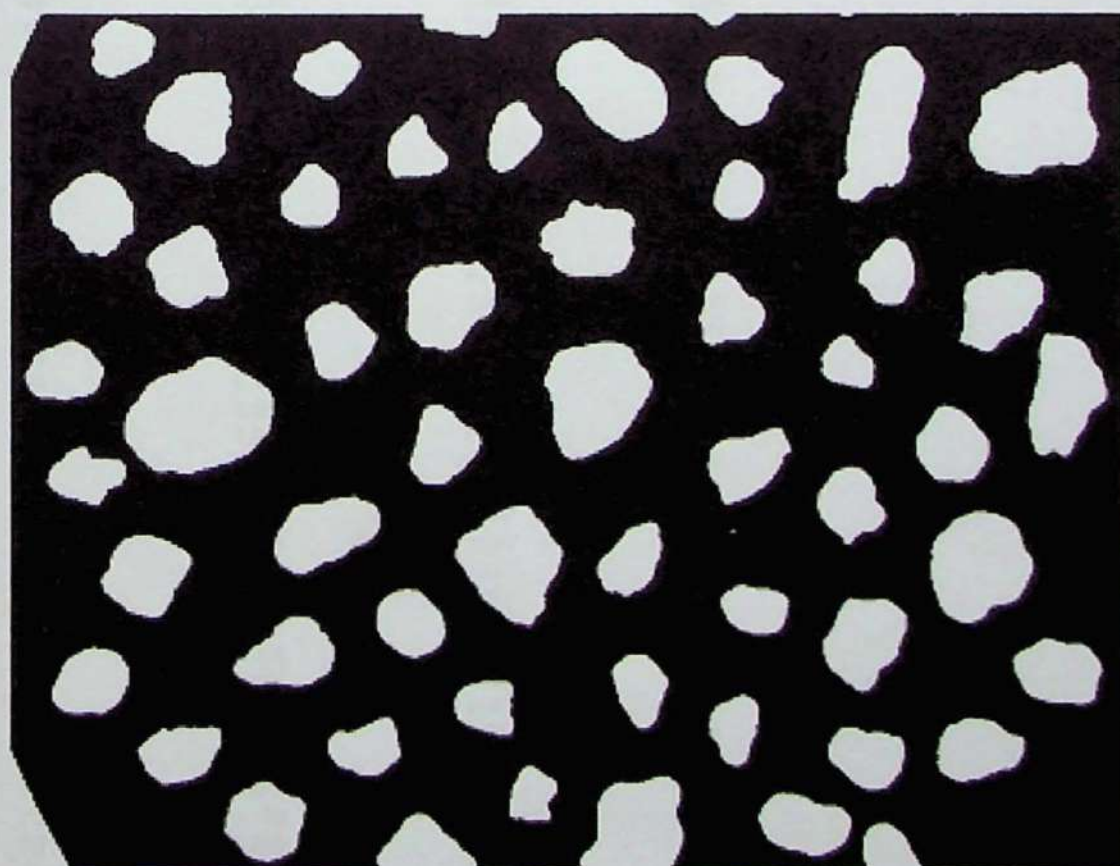
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de britagem de rocha malha #100

83	0,345	(0,15mm)	0,9
84	0,223	0,772	0,8
85	0,357	0,711	0,8
86	0,192	0,955	0,8
87	0,192	0,569	0,8
88	0,224	0,61	0,8
89	0,172	0,711	0,8
90	0,126	0,569	0,8
91	0,16	0,549	0,7
92	0,242	0,63	0,8
93	0,386	0,752	0,8
94	0,713	0,833	0,8
95	0,108	1,341	0,7
96	0,318	0,427	0,9
97	0,161	0,752	0,9
98	0,12	0,61	0,7
99	0,265	0,467	0,8
100	0,339	0,732	0,8
101	0,129	0,813	0,9
102	0,25	0,447	0,9
103	0,345	0,772	0,7
104	0,703	0,813	0,8
105	0,241	1,118	0,9
106	0,454	0,691	0,8
107	0,431	0,894	0,9
108	0,247	0,854	0,9
109	0,238	0,65	0,8
110	0,497	0,65	0,8
		0,955	0,8

Média	0,292	0,759	0,8
Desvio Padrão	0,149	0,224	0,1
Máximo	0,746	1,504	0,9
Mínimo	0,003	0,163	0,3



Grãos de areia eólica representativos da malha #28 (0,6mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia eólica malha #28 (0,6mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia eólica malha #28 (0,6mm)

Grão	Area (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,249	0,64	0,9
2	0,499	1,008	0,9
3	0,37	0,771	0,8
4	0,174	0,593	0,9
5	0,705	1,138	0,8
6	0,169	0,534	0,8
7	0,573	1,316	0,7
8	0,153	0,486	0,9
9	0,177	0,51	1,0
10	0,303	0,664	0,9
11	0,364	0,806	0,8
12	0,181	0,545	0,9
13	0,285	0,664	0,9
14	0,223	0,593	0,8
15	0,393	0,83	0,9
16	0,326	0,842	0,8
17	0,249	0,617	0,9
18	0,134	0,474	0,9
19	0,211	0,593	0,9
20	0,436	0,996	0,7
21	0,603	1,02	0,9
22	0,771	1,174	0,9
23	0,252	0,64	0,9
24	0,273	0,652	0,9
25	0,181	0,605	0,8
26	0,272	0,771	0,8
27	0,236	0,617	0,9
28	0,36	0,901	0,8
29	0,213	0,676	0,8
30	0,316	0,711	0,9
31	0,549	0,925	0,9
32	0,545	0,96	0,9
33	0,175	0,569	0,9
34	0,233	0,605	1,0
35	0,304	0,806	0,8
36	0,362	0,771	0,9
37	0,243	0,64	0,9
38	0,192	0,605	0,9
39	0,174	0,545	0,8
40	0,17	0,569	0,8
41	0,195	0,593	0,8
42	0,223	0,652	0,8
43	0,27	0,735	0,8
44	0,238	0,64	0,9
45	0,132	0,486	0,8
46	0,282	0,771	0,8
47	0,299	0,676	0,9
48	0,143	0,61	0,7
49	0,321	0,772	0,9
50	0,815	1,138	0,9
51	0,604	1,057	0,8
52	0,563	0,996	0,9
53	0,994	1,423	0,8
54	0,796	1,22	0,9
55	0,513	1,037	0,8
56	0,469	0,894	0,9
57	1,863	1,972	0,8
58	1,009	1,341	0,9
59	0,771	1,301	0,8
60	0,472	0,894	0,9
61	0,88	1,24	0,9
62	0,736	1,057	0,9
63	0,675	1,077	0,9
64	0,685	1,22	0,7
65	0,579	1,016	0,8
66	0,558	0,996	0,8
67	0,594	1,138	0,8
68	0,633	1,057	0,9
69	0,849	1,28	0,9
70	0,529	0,996	0,8
71	0,553	1,037	0,8
72	1,108	1,24	0,9
73	0,625	0,996	0,9
74	0,543	0,955	0,9
75	0,951	1,463	0,8
76	1,067	1,484	0,8
77	0,63	1,24	0,8
78	0,861	1,179	0,9
79	1,036	1,382	0,9
80	0,796	1,26	0,9
81	0,544	0,935	0,8

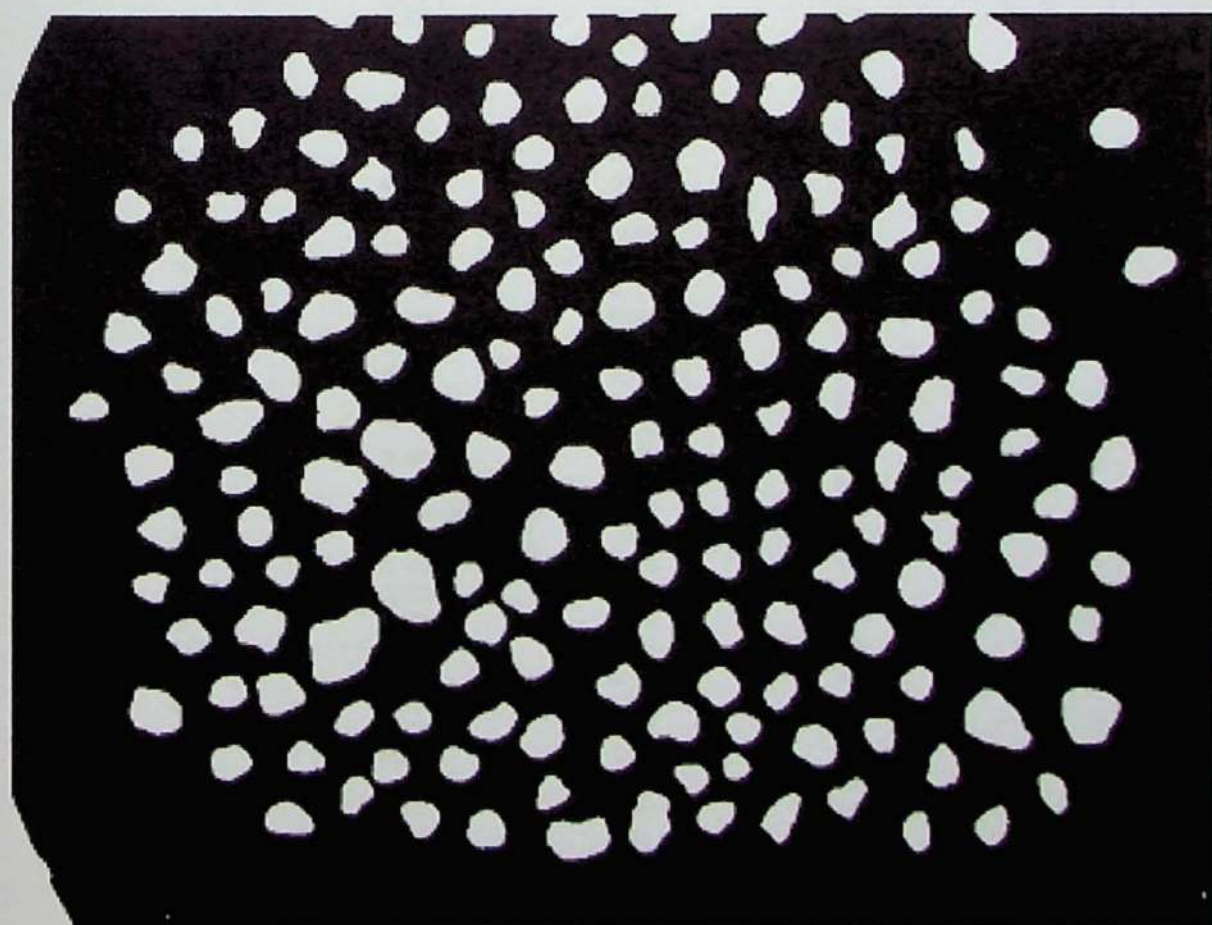
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia eólica malha #28 (0,6mm)

82	0,65	1,159	0,9
83	0,756	1,057	0,9
84	0,825	1,138	0,9
85	0,925	1,382	0,8
86	0,435	0,854	0,8
87	0,548	0,996	0,8
88	0,93	1,443	0,7
89	0,757	1,098	0,9
90	0,54	0,955	0,9
91	0,716	1,138	0,9
92	0,813	1,118	0,9
93	1,722	1,992	0,8
94	1,555	1,89	0,7
95	0,714	1,138	0,8
96	0,668	0,996	0,9
97	0,837	1,159	0,9
98	0,736	1,341	0,8
99	0,59	1,159	0,8
100	0,954	1,423	0,8
101	0,531	0,894	0,9
102	1,445	1,931	0,7
103	0,555	0,955	0,9
104	0,401	0,854	0,9
105	0,92	1,199	0,9
106	0,507	0,955	0,9
107	0,437	0,874	0,9
108	0,951	1,26	0,9
109	0,696	1,24	0,8
110	1,279	1,707	0,8
111	0,696	1,016	0,9
112	0,466	0,813	0,9
113	0,622	1,057	0,9
114	0,816	1,321	0,8
115	0,484	0,874	0,9
116	0,475	0,833	0,9
117	0,512	0,894	0,9
118	0,645	1,138	0,8
119	0,917	1,22	0,9
120	0,502	0,894	0,9
121	0,644	1,057	0,9
122	0,846	1,199	0,9
123	0,971	1,402	0,8

Média	0,577	0,991	0,9
Desvio Padrão	0,329	0,321	0,1
Máximo	1,863	1,992	1,0
Mínimo	0,132	0,474	0,7



Graos de areia eólica representativos da malha #48 (0,3mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia eólica malha #48 (0,3mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia eólica malha #48 (0,3mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,189	0,589	0,9
2	0,147	0,508	0,9
3	0,189	0,528	0,9
4	0,218	0,691	0,8
5	0,134	0,467	0,9
6	0,14	0,467	0,9
7	0,361	0,793	0,9
8	0,181	0,589	0,9
9	0,25	0,63	0,9
10	0,124	0,447	0,9
11	0,295	0,752	0,8
12	0,13	0,447	0,9
13	0,256	0,65	0,9
14	0,246	0,63	0,9
15	0,221	0,589	0,9
16	0,146	0,488	0,9
17	0,166	0,528	0,9
18	0,181	0,589	0,8
19	0,262	0,65	0,9
20	0,135	0,467	0,9
21	0,222	0,63	0,9
22	0,184	0,528	0,9
23	0,139	0,569	0,8
24	0,141	0,508	0,9
25	0,336	0,691	0,9
26	0,188	0,589	0,8
27	0,271	0,65	1,0
28	0,186	0,549	0,9
29	0,207	0,589	0,8
30	0,145	0,508	0,9
31	0,146	0,447	0,9
32	0,143	0,528	0,8
33	0,149	0,508	0,8
34	0,17	0,508	0,9
35	0,223	0,854	0,7
36	0,202	0,63	0,8
37	0,138	0,488	0,9
38	0,278	0,752	0,8
39	0,145	0,508	0,9
40	0,252	0,691	0,8
41	0,158	0,467	0,9
42	0,221	0,65	0,9
43	0,18	0,528	0,9
44	0,128	0,467	0,9
45	0,173	0,528	0,9
46	0,261	0,711	0,9
47	0,294	0,691	0,9
48	0,164	0,569	0,9
49	0,124	0,447	0,9
50	0,235	0,589	0,9
51	0,238	0,61	0,9
52	0,273	0,752	0,8
53	0,15	0,488	0,9
54	0,36	0,752	0,9
55	0,183	0,569	0,9
56	0,332	0,793	0,9
57	0,146	0,508	0,9
58	0,128	0,467	0,9
59	0,21	0,589	0,8
60	0,198	0,569	0,9
61	0,307	0,752	0,9
62	0,12	0,427	0,9
63	0,249	0,61	0,9
64	0,196	0,589	0,9
65	0,132	0,488	0,9
66	0,195	0,549	0,9
67	0,152	0,569	0,8
68	0,321	0,793	0,9
69	0,18	0,589	0,9
70	0,353	0,711	0,9
71	0,247	0,63	0,9
72	0,141	0,508	0,9
73	0,13	0,488	0,9
74	0,219	0,61	0,9
75	0,256	0,63	0,9
76	0,313	0,752	0,9
77	0,133	0,488	0,8
78	0,321	0,813	0,8
79	0,152	0,488	0,9

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia eólica malha #48 (0,3mm)

80	0,135	0,528	0,8
81	0,171	0,528	0,9
82	0,528	0,955	0,9
83	0,25	0,63	0,9
84	0,233	0,63	0,9
85	0,318	0,732	0,9
86	0,131	0,467	0,9
87	0,189	0,63	0,8
88	0,292	0,711	0,9
89	0,126	0,447	0,9
90	0,129	0,447	0,9
91	0,161	0,508	0,9
92	0,426	0,854	0,8
93	0,154	0,508	0,9
94	0,193	0,589	0,9
95	0,237	0,711	0,8
96	0,159	0,488	0,9
97	0,185	0,528	0,9
98	0,137	0,488	0,9
99	0,214	0,569	0,9
100	0,172	0,63	0,7
101	0,18	0,508	0,9
102	0,324	0,691	0,9
103	0,174	0,528	0,8
104	0,141	0,488	0,9
105	0,261	0,63	0,9
106	0,173	0,549	0,9
107	0,119	0,427	0,9
108	0,126	0,447	0,9
109	0,175	0,528	0,9
110	0,176	0,528	0,9
111	0,182	0,589	0,8
112	0,137	0,488	0,9
113	0,13	0,447	0,9
114	0,289	0,63	1,0
115	0,148	0,508	0,9
116	0,609	1,057	0,9
117	0,204	0,65	0,9
118	0,152	0,508	0,9
119	0,226	0,569	0,9
120	0,231	0,65	0,9
121	0,217	0,61	0,9
122	0,177	0,528	0,9
123	0,275	0,671	0,9
124	0,23	0,589	0,9
125	0,222	0,63	0,9
126	0,269	0,65	0,9
127	0,226	0,63	0,9
128	0,626	1,138	0,9
129	0,188	0,549	0,9
130	0,149	0,488	0,9
131	0,143	0,467	0,9
132	0,152	0,488	0,9
133	0,22	0,589	0,9
134	0,207	0,569	0,9
135	0,246	0,65	0,9
136	0,148	0,508	0,9
137	0,297	0,732	0,9
138	0,151	0,488	0,9
139	0,165	0,549	0,9
140	0,207	0,671	0,8
141	0,273	0,691	0,9
142	0,145	0,488	0,9
143	0,428	0,793	0,9
144	0,456	0,955	0,8
145	0,152	0,528	0,9
146	0,245	0,63	0,9
147	0,244	0,63	0,9
148	0,145	0,488	0,9
149	0,164	0,488	0,9
150	0,179	0,508	0,9
151	0,181	0,528	0,9
152	0,099	0,407	0,9
153	0,17	0,508	0,9
154	0,176	0,569	0,9
155	0,129	0,488	0,9
156	0,139	0,488	0,8
157	0,151	0,528	0,9
158	0,145	0,569	0,8
159	0,177	0,569	0,8

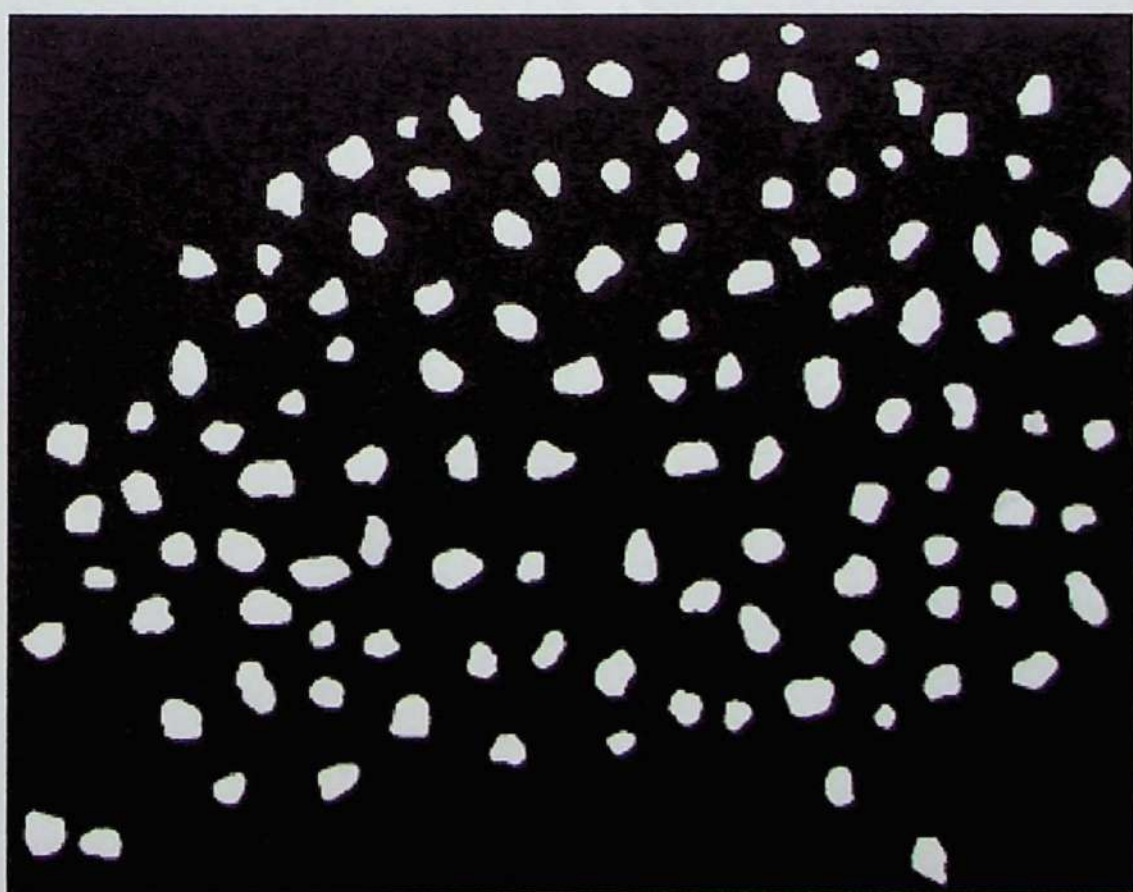
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia eólica malha #48 (0,3mm)

160	0,201	0,63	0,9
161	0,158	0,549	0,9
162	0,178	0,528	0,9
163	0,203	0,671	0,8
164	0,16	0,528	0,9
165	0,199	0,549	0,9
166	0,323	0,793	0,8
167	0,145	0,508	0,9
168	0,354	0,874	0,8

Média	0,209	0,590	0,9
Desvio Padrão	0,085	0,120	0,0
Máximo	0,626	1,138	1,0
Mínimo	0,099	0,407	0,7



Grãos de areia eólica representativos da malha #100 (0,15mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia eólica malha #100 (0,15mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia eólica malha #100 (0,15mm)

Grão	Área (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,074	0,366	0,9
2	0,061	0,346	0,8
3	0,13	0,488	0,9
4	0,23	0,65	0,9
5	0,287	0,691	0,8
6	0,159	0,549	0,8
7	0,204	0,65	0,8
8	0,294	0,793	0,8
9	0,071	0,346	0,8
10	0,173	0,63	0,8
11	0,146	0,508	0,9
12	0,24	0,63	0,9
13	0,074	0,346	0,9
14	0,259	0,65	0,9
15	0,099	0,407	0,9
16	0,093	0,386	0,9
17	0,144	0,447	1,0
18	0,142	0,508	0,9
19	0,189	0,61	0,8
20	0,127	0,427	0,9
21	0,153	0,488	0,9
22	0,23	0,61	0,9
23	0,215	0,63	0,9
24	0,129	0,467	0,9
25	0,232	0,63	0,9
26	0,187	0,65	0,8
27	0,171	0,528	0,8
28	0,12	0,488	0,8
29	0,159	0,63	0,8
30	0,109	0,447	0,9
31	0,166	0,549	0,8
32	0,274	0,691	0,9
33	0,235	0,711	0,8
34	0,182	0,569	0,9
35	0,184	0,569	0,8
36	0,188	0,63	0,8
37	0,151	0,488	0,9
38	0,231	0,691	0,9
39	0,134	0,488	0,9
40	0,153	0,528	0,9
41	0,324	0,772	0,9
42	0,158	0,589	0,8
43	0,106	0,407	0,9
44	0,136	0,508	0,9
45	0,247	0,65	0,9
46	0,271	0,772	0,8
47	0,279	0,732	0,8
48	0,148	0,569	0,9
49	0,283	0,711	0,9
50	0,098	0,386	0,9
51	0,114	0,447	0,9
52	0,2	0,65	0,8
53	0,172	0,528	0,9
54	0,083	0,386	0,9
55	0,182	0,589	0,9
56	0,238	0,61	0,9
57	0,269	0,752	0,8
58	0,202	0,589	0,8
59	0,254	0,732	0,8
60	0,18	0,63	0,8
61	0,219	0,61	0,9
62	0,08	0,366	0,9
63	0,307	0,772	0,8
64	0,215	0,61	0,9
65	0,217	0,61	0,9
66	0,212	0,589	0,9
67	0,204	0,589	0,9
68	0,131	0,467	0,8
69	0,166	0,488	0,9
70	0,211	0,589	0,9
71	0,206	0,671	0,8
72	0,145	0,488	0,9
73	0,271	0,691	0,9
74	0,133	0,488	0,9
75	0,261	0,711	0,8
76	0,106	0,427	0,9
77	0,269	0,833	0,8
78	0,278	0,732	0,9

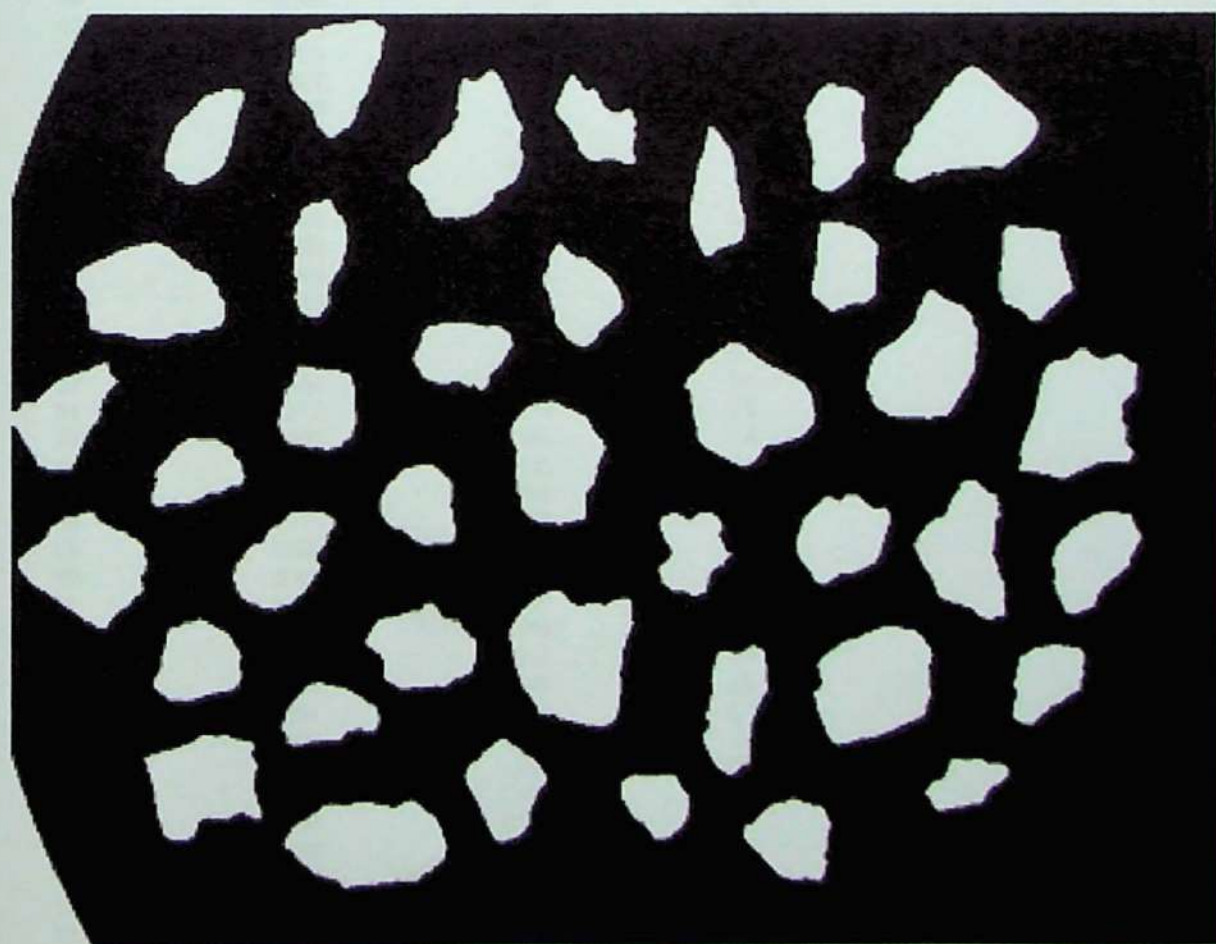
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia eólica malha #100 (0,15mm)

79	0,251	0,63	0,9
80	0,094	0,386	0,9
81	0,192	0,63	0,9
82	0,146	0,488	0,9
83	0,26	0,691	0,8
84	0,216	0,589	0,8
85	0,097	0,407	0,9
86	0,25	0,711	0,9
87	0,139	0,508	0,8
88	0,164	0,488	1,0
89	0,155	0,569	0,8
90	0,157	0,508	0,8
91	0,218	0,671	0,9
92	0,253	0,671	0,9
93	0,183	0,569	0,9
94	0,157	0,488	0,9
95	0,257	0,752	0,8
96	0,295	0,711	0,9
97	0,166	0,508	0,9
98	0,073	0,325	0,9
99	0,121	0,427	0,9
100	0,252	0,65	0,8
101	0,246	0,65	0,9
102	0,097	0,427	0,9
103	0,166	0,528	0,8
104	0,202	0,65	0,8
105	0,139	0,488	0,9
106	0,173	0,528	0,9

Média	0,184	0,569	0,9
Desvio Padrão	0,063	0,117	0,0
Máximo	0,324	0,833	1,0
Mínimo	0,061	0,325	0,8



Grãos de areia de leito de rio representativos da malha #28 (0,6mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de leito de rio malha #28 (0,6mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de leito de rio malha #28 (0,6mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	1,193	1,565	0,8
2	0,716	1,402	0,6
3	1,627	1,992	0,8
4	0,744	1,382	0,8
5	0,848	1,362	0,8
6	1,666	1,972	0,7
7	0,808	1,626	0,7
8	0,792	1,199	0,9
9	0,739	1,484	0,7
10	0,872	1,26	0,8
11	1,594	1,87	0,8
12	0,869	1,341	0,8
13	0,816	1,301	0,8
14	1,6	1,728	0,8
15	0,834	1,159	0,9
16	0,944	1,524	0,7
17	1,759	1,789	0,8
18	1,804	2,033	0,7
19	0,676	1,199	0,8
20	1,456	1,626	0,8
21	0,758	1,118	0,9
22	0,986	1,321	0,9
23	0,715	1,118	0,7
24	0,986	1,504	0,8
25	0,956	1,484	0,8
26	1,343	1,768	0,7
27	1,41	1,565	0,8
28	1,079	1,443	0,8
29	0,825	1,138	0,9
30	0,665	1,24	0,8
31	2,094	1,87	0,8
32	0,677	1,26	0,7
33	1,754	1,789	0,9
34	0,953	1,646	0,7
35	0,461	1,138	0,7
36	1,329	1,626	0,7
37	0,543	0,976	0,9
38	0,872	1,301	0,8
39	0,867	1,22	0,8
40	1,705	2,093	0,8
41	0,799	1,28	0,8
42	0,972	1,341	0,8
43	1,769	2,053	0,8
44	1,438	1,565	0,8
45	1,305	2,033	0,6
46	0,915	1,301	0,8
47	1,695	1,85	0,8
48	0,652	1,098	0,9
49	0,486	0,976	0,8
50	1,755	1,931	0,8
51	1,288	1,504	0,9
52	1,3	1,545	0,8
53	1,354	1,443	0,9
54	0,773	1,159	0,8
55	2,356	2,154	0,8
56	1,474	1,728	0,8
57	0,967	1,524	0,8
58	1,151	1,443	0,9
59	1,222	1,728	0,8
60	0,42	0,935	0,7
61	0,847	1,646	0,6
62	1,635	1,789	0,8
63	0,525	0,915	0,9
64	1,545	1,545	0,9
65	0,761	1,341	0,7
66	1,331	1,911	0,7
67	0,763	1,382	0,6
68	0,995	1,463	0,8
69	1,455	1,707	0,8
70	0,803	1,382	0,8
71	1,374	1,606	0,8
72	1,259	1,443	0,8
73	0,78	1,22	0,8
74	0,779	1,159	0,8
75	0,875	1,423	0,7
76	0,701	1,037	0,9

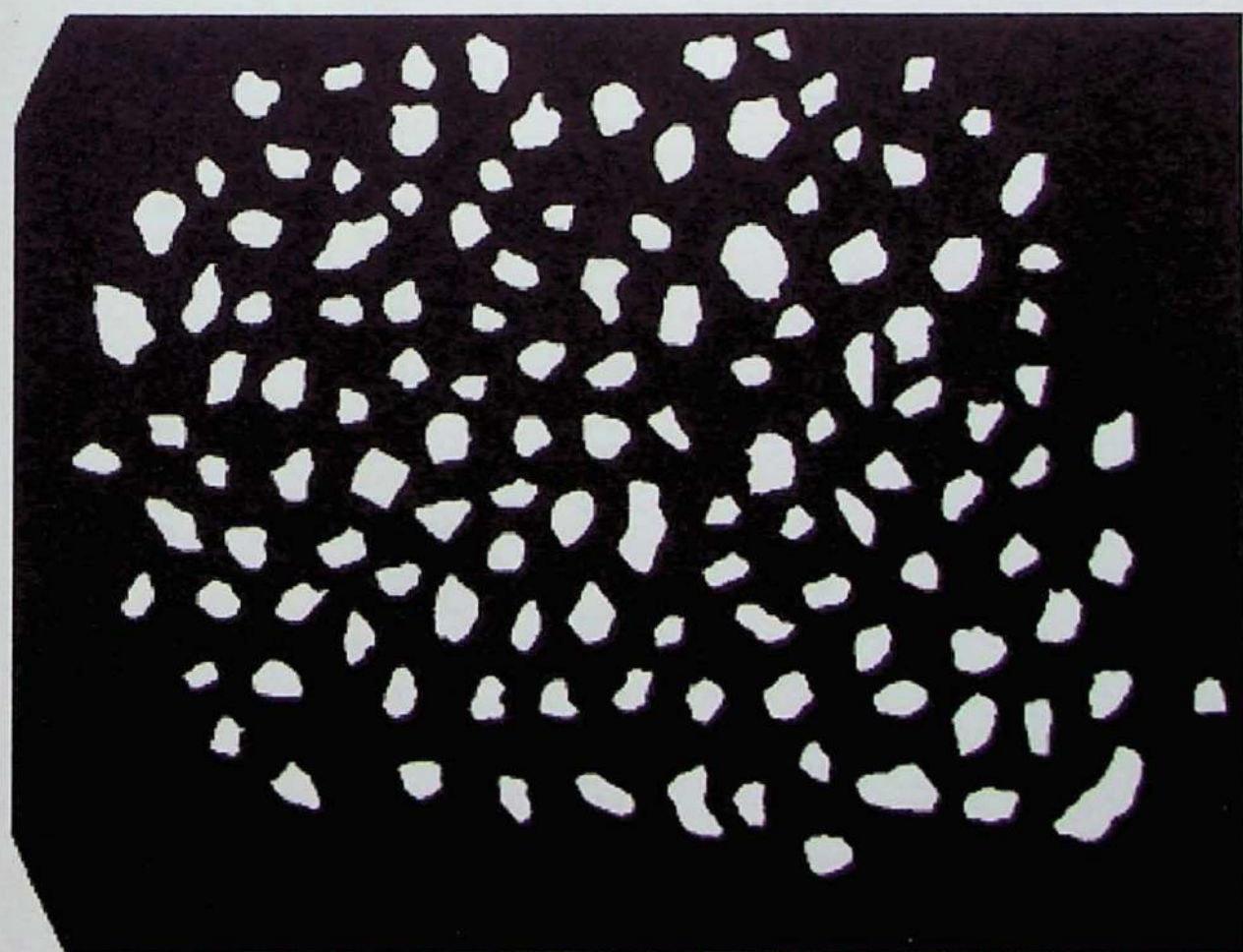
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de leito de rio malha #28 (0,6mm)

77	1,578	1,707	0,9
78	0,433	0,833	0,9
79	1,137	1,382	0,9
80	0,727	1,24	0,8
81	0,555	1,118	0,7
82	0,587	1,077	0,8
83	0,445	0,996	0,8
84	0,65	1,199	0,8
85	1,127	1,667	0,7
86	1,175	1,748	0,7
87	0,682	1,098	0,8
88	2,479	2,256	0,9
89	1,126	1,423	0,8
90	0,823	1,28	0,8
91	1,193	1,585	0,8
92	1,273	1,768	0,7
93	0,693	1,159	0,8
94	0,725	1,382	0,7
95	0,742	1,26	0,8
96	0,901	1,199	0,8
97	1,179	1,585	0,8
98	0,773	1,199	0,7
99	1,852	2,378	0,6
100	1,319	1,748	0,7
101	0,926	1,504	0,7
102	1,838	1,911	0,8
103	0,691	1,159	0,8
104	0,487	0,935	0,8
105	0,837	1,24	0,7
106	1	1,321	0,8
107	0,694	1,098	0,8
108	2,711	1,972	1,0
109	0,756	1,159	0,9
110	0,407	0,793	0,9
111	0,781	1,138	0,8
112	0,517	0,976	0,9
113	0,709	1,22	0,8
114	1,168	1,504	0,8
115	0,908	1,362	0,8
116	1,024	1,545	0,7
117	1,233	1,443	0,7
118	1,088	1,545	0,8
119	0,754	1,423	0,7
120	0,554	0,894	0,9
121	0,771	1,138	0,9
122	1,035	1,463	0,8

Média	1,057	1,443	0,8
Desvio Padrão	0,446	0,322	0,1
Máximo	2,711	2,378	1,0
Mínimo	0,407	0,793	0,6



Grãos de areia de leito de rio representativos da malha #48 (0,3mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de leito de rio malha #48 (0,3mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de leito de rio malha #48 (0,3mm)

Grão	Area (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,11	0,508	0,7
2	0,286	0,732	0,8
3	0,133	0,528	0,8
4	0,178	0,589	0,9
5	0,288	0,752	0,8
6	0,143	0,569	0,8
7	0,227	0,61	0,8
8	0,171	0,61	0,8
9	0,314	0,691	0,9
10	0,111	0,427	0,8
11	0,288	0,772	0,7
12	0,322	0,732	0,8
13	0,449	0,854	0,8
14	0,112	0,467	0,8
15	0,179	0,61	0,8
16	0,292	0,772	0,9
17	0,224	0,691	0,8
18	0,129	0,488	0,9
19	0,111	0,447	0,8
20	0,121	0,508	0,8
21	0,115	0,407	0,9
22	0,141	0,508	0,8
23	0,294	0,874	0,8
24	0,106	0,447	0,8
25	0,232	0,65	0,9
26	0,205	0,589	0,8
27	0,183	0,61	0,8
28	0,336	0,813	0,8
29	0,38	1,077	0,7
30	0,139	0,569	0,8
31	0,354	0,793	0,9
32	0,199	0,65	0,8
33	0,346	0,793	0,9
34	0,604	1,037	0,8
35	0,191	0,569	0,9
36	0,137	0,488	0,9
37	0,149	0,549	0,8
38	0,313	0,854	0,7
39	0,109	0,447	0,8
40	0,252	0,894	0,7
41	0,116	0,488	0,8
42	0,151	0,569	0,8
43	0,338	0,813	0,8
44	0,49	1,077	0,8
45	0,317	0,752	0,8
46	0,204	0,63	0,8
47	0,173	0,528	0,8
48	0,153	0,549	0,8
49	0,218	0,691	0,8
50	0,108	0,467	0,8
51	0,222	0,772	0,7
52	0,263	0,915	0,7
53	0,152	0,549	0,7
54	0,266	0,691	0,8
55	0,194	0,691	0,8
56	0,137	0,488	0,8
57	0,113	0,467	0,8
58	0,165	0,589	0,7
59	0,156	0,569	0,8
60	0,162	0,65	0,7
61	0,181	0,528	0,9
62	0,271	0,671	0,9
63	0,288	0,691	0,9
64	0,151	0,569	0,8
65	0,278	0,793	0,8
66	0,122	0,467	0,9
67	0,194	0,63	0,8
68	0,148	0,61	0,7
69	0,383	0,833	0,7
70	0,225	0,691	0,8
71	0,148	0,63	0,7
72	0,351	0,793	0,8
73	0,205	0,691	0,7
74	0,126	0,488	0,8
75	0,234	0,732	0,7
76	0,12	0,467	0,8

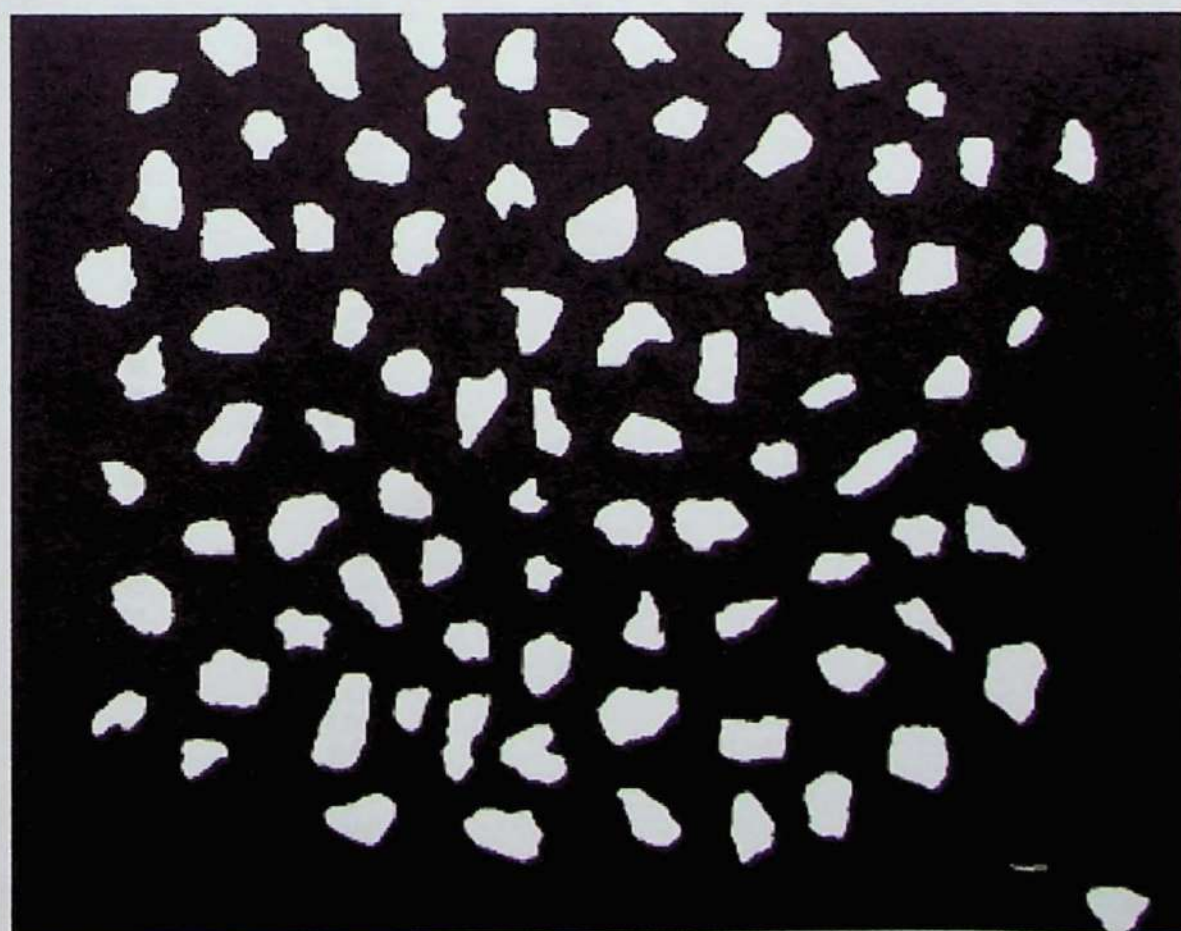
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de leito de rio malha #48 (0,3mm)

77	0,292	0,732	0,9
78	0,197	0,833	0,7
79	0,262	0,915	0,7
80	0,2	0,63	0,8
81	0,213	0,63	0,9
82	0,189	0,569	1,0
83	0,472	1,159	0,7
84	0,163	0,528	0,8
85	0,261	0,711	0,8
86	0,159	0,63	0,7
87	0,169	0,528	0,9
88	0,167	0,569	0,8
89	0,186	0,61	0,8
90	0,143	0,589	0,8
91	0,183	0,549	0,9
92	0,189	0,732	0,7
93	0,345	0,833	0,8
94	0,302	0,752	0,9
95	0,212	0,793	0,7
96	0,276	0,732	0,8
97	0,112	0,488	0,8
98	0,169	0,65	0,8
99	0,174	0,671	0,7
100	0,202	0,671	0,8
101	0,302	0,732	0,9
102	0,094	0,427	0,8
103	0,217	0,65	0,8
104	0,171	0,63	0,8
105	0,136	0,488	0,8
106	0,194	0,63	0,9
107	0,161	0,549	0,8
108	0,233	0,711	0,8
109	0,179	0,589	0,7
110	0,266	0,671	0,9
111	0,235	0,711	0,8
112	0,187	0,549	0,8
113	0,134	0,508	0,7
114	0,293	0,793	0,8
115	0,189	0,691	0,7
116	0,135	0,508	0,8
117	0,204	0,61	0,9
118	0,204	0,671	0,7
119	0,441	1,077	0,8
120	0,239	0,854	0,7
121	0,169	0,65	0,8
122	0,23	0,732	0,8
123	0,167	0,569	0,8
124	0,362	0,935	0,7
125	0,616	1,423	0,6
126	0,227	0,65	0,9

Média	0,220	0,664	0,8
Desvio Padrão	0,097	0,164	0,1
Máximo	0,616	1,423	1,0
Mínimo	0,094	0,407	0,6



Grãos de areia de leito de rio representativos da malha #100 (0,15mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de leito de rio malha #100 (0,15mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de leito de rio #100 (0,15mm)

Grão	Area (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,334	0,833	0,8
2	0,352	0,894	0,8
3	0,388	0,793	0,8
4	0,386	0,793	0,9
5	0,311	0,854	0,7
6	0,364	0,813	0,8
7	0,488	1,057	0,8
8	0,254	0,732	0,8
9	0,186	0,569	0,8
10	0,26	0,691	0,8
11	0,289	0,772	0,8
12	0,198	0,589	0,8
13	0,248	0,63	0,8
14	0,454	0,996	0,8
15	0,436	0,874	0,9
16	0,315	0,854	0,7
17	0,238	0,691	0,8
18	0,366	0,752	0,8
19	0,291	0,711	0,7
20	0,476	1,057	0,8
21	0,275	0,752	0,8
22	0,435	0,996	0,8
23	0,654	1,118	0,8
24	0,209	0,61	0,9
25	0,421	0,915	0,8
26	0,532	1,118	0,8
27	0,314	0,813	0,8
28	0,415	0,915	0,8
29	0,447	0,854	0,8
30	0,343	1,037	0,6
31	0,278	0,752	0,8
32	0,146	0,61	0,8
33	0,46	0,996	0,9
34	0,419	0,915	0,7
35	0,471	1,077	0,7
36	0,321	0,691	0,9
37	0,333	0,894	0,7
38	0,268	0,711	0,9
39	0,44	0,955	0,7
40	0,214	0,772	0,7
41	0,421	1,118	0,7
42	0,229	0,752	0,7
43	0,362	0,955	0,8
44	0,29	0,955	0,7
45	0,419	1,037	0,7
46	0,225	0,61	0,9
47	0,238	0,65	0,8
48	0,423	1,301	0,6
49	0,212	0,671	0,8
50	0,14	0,508	0,7
51	0,347	0,833	0,8
52	0,359	0,813	0,8
53	0,489	1,037	0,8
54	0,242	0,691	0,8
55	0,504	0,996	0,8
56	0,278	0,732	0,8
57	0,322	0,976	0,6
58	0,264	0,691	0,8
59	0,231	0,854	0,7
60	0,159	0,528	0,7
61	0,436	1,077	0,7
62	0,446	0,894	0,9
63	0,244	0,894	0,6
64	0,269	0,732	0,7
65	0,257	0,772	0,6
66	0,219	0,976	0,5
67	0,239	0,671	0,8
68	0,388	0,813	0,9
69	0,38	0,915	0,8
70	0,524	0,955	0,8
71	0,597	1,037	0,8
72	0,201	0,61	0,8
73	0,239	0,813	0,7
74	0,578	1,118	0,8
75	0,448	1,016	0,7
76	0,638	1,301	0,7
77	0,204	0,65	0,8
78	0,432	1,179	0,6
79	0,437	0,935	0,7
80	0,523	0,935	0,9
81	0,423	0,854	0,8

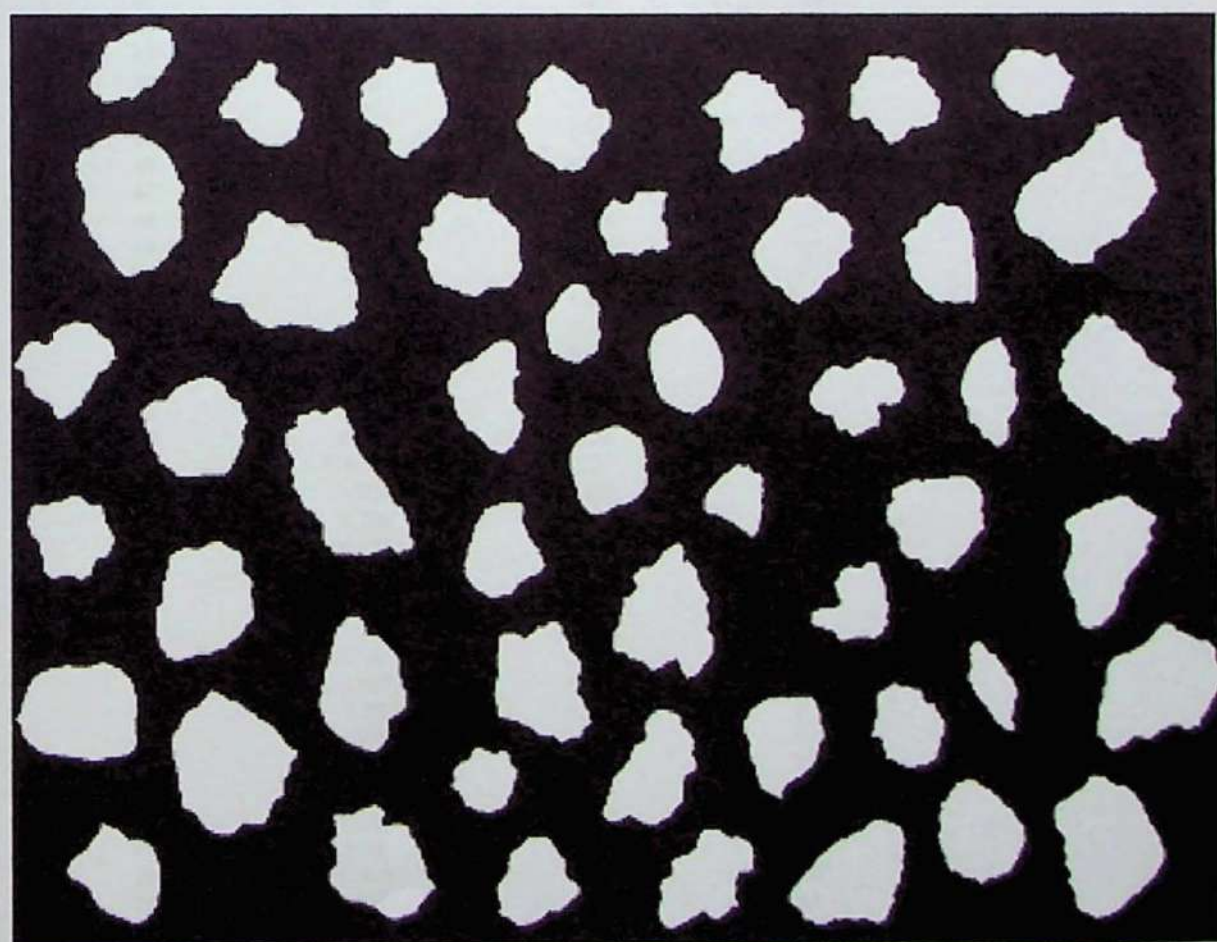
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de leito de rio #100 (0,15mm)

82	0,405	0,915	0,8
83	0,383	1,016	0,7
84	0,501	1,077	0,8
85	0,378	0,915	0,8
86	0,14	0,508	0,7
87	0,347	0,833	0,8
88	0,359	0,813	0,8
89	0,489	1,037	0,8
90	0,242	0,691	0,8
91	0,504	0,996	0,8
92	0,278	0,732	0,8
93	0,322	0,976	0,6
94	0,264	0,691	0,8
95	0,231	0,854	0,7
96	0,159	0,528	0,7
97	0,436	1,077	0,7
98	0,446	0,894	0,9
99	0,244	0,894	0,6
100	0,269	0,732	0,7

Média	0,347	0,855	0,8
Desvio Padrão	0,115	0,171	0,1
Máximo	0,654	1,301	0,9
Mínimo	0,140	0,508	0,5



Grãos de areia de moagem de quartzo representativos da malha #28 (0,6mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de moagem de quartzo #28 (0,6mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de moagem de quartzito malha #28 (0,6mm)

Grão	Area (mm ²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,669	1,098	0,8
2	0,906	1,24	0,8
3	0,683	1,118	0,8
4	0,964	1,28	0,8
5	1,061	1,382	0,8
6	1,034	1,362	0,7
7	0,577	1,077	0,7
8	2,08	1,972	0,8
9	1,725	1,789	0,9
10	1,269	1,423	0,8
11	1,157	1,382	0,9
12	0,933	1,341	0,8
13	1,84	1,85	0,8
14	0,551	0,996	0,9
15	0,925	1,26	0,9
16	0,81	1,26	0,7
17	1,663	1,85	0,8
18	0,718	1,382	0,7
19	0,923	1,423	0,7
20	1,172	1,321	0,9
21	0,869	1,159	0,9
22	0,475	0,935	0,8
23	1,788	2,215	0,7
24	1,173	1,341	0,8
25	0,774	1,118	0,8
26	0,856	1,26	0,8
27	1,304	1,748	0,7
28	0,657	1,159	0,6
29	1,37	1,606	0,8
30	1,47	1,707	0,7
31	0,423	1,22	0,7
32	1,36	1,667	0,7
33	1,293	1,728	0,8
34	1,69	1,87	0,8
35	1,45	1,504	0,9
36	0,741	1,138	0,8
37	0,976	1,341	0,8
38	0,499	0,894	0,8
39	1,105	1,626	0,7
40	1,887	1,809	0,8
41	1,064	1,321	0,9
42	1,298	1,606	0,7
43	0,904	1,362	0,8
44	1,707	1,789	0,8
45	0,808	1,179	0,8
46	1,374	1,748	0,8
47	1,002	1,565	0,6
48	1,214	1,362	0,9
49	0,67	1,179	0,7
50	0,743	1,423	0,7
51	1,21	1,504	0,8
52	1,702	2,297	0,5
53	0,577	0,976	0,8
54	1,582	2,134	0,6
55	0,847	1,301	0,8
56	0,939	1,24	0,8
57	0,75	1,24	0,8
58	1,789	1,931	0,7
59	0,769	1,341	0,6
60	0,977	1,423	0,8
61	1,738	1,972	0,6
62	1,003	1,301	0,8
63	1,048	1,362	0,7
64	1,167	1,748	0,7
65	1,357	1,728	0,7
66	1,02	1,402	0,7
67	1,707	1,85	0,6
68	1,817	2,053	0,7
69	1,36	1,911	0,7
70	1,366	1,667	0,7
71	1,45	1,87	0,8
72	0,992	1,362	0,8
73	0,917	1,402	0,8
74	0,757	1,26	0,7
75	1,001	1,301	0,8
76	2,295	2,378	0,7
77	1,246	1,687	0,6
78	1,253	1,606	0,7
79	1,038	1,321	0,9
80	1,325	1,504	0,7
81	1,747	2,073	0,7

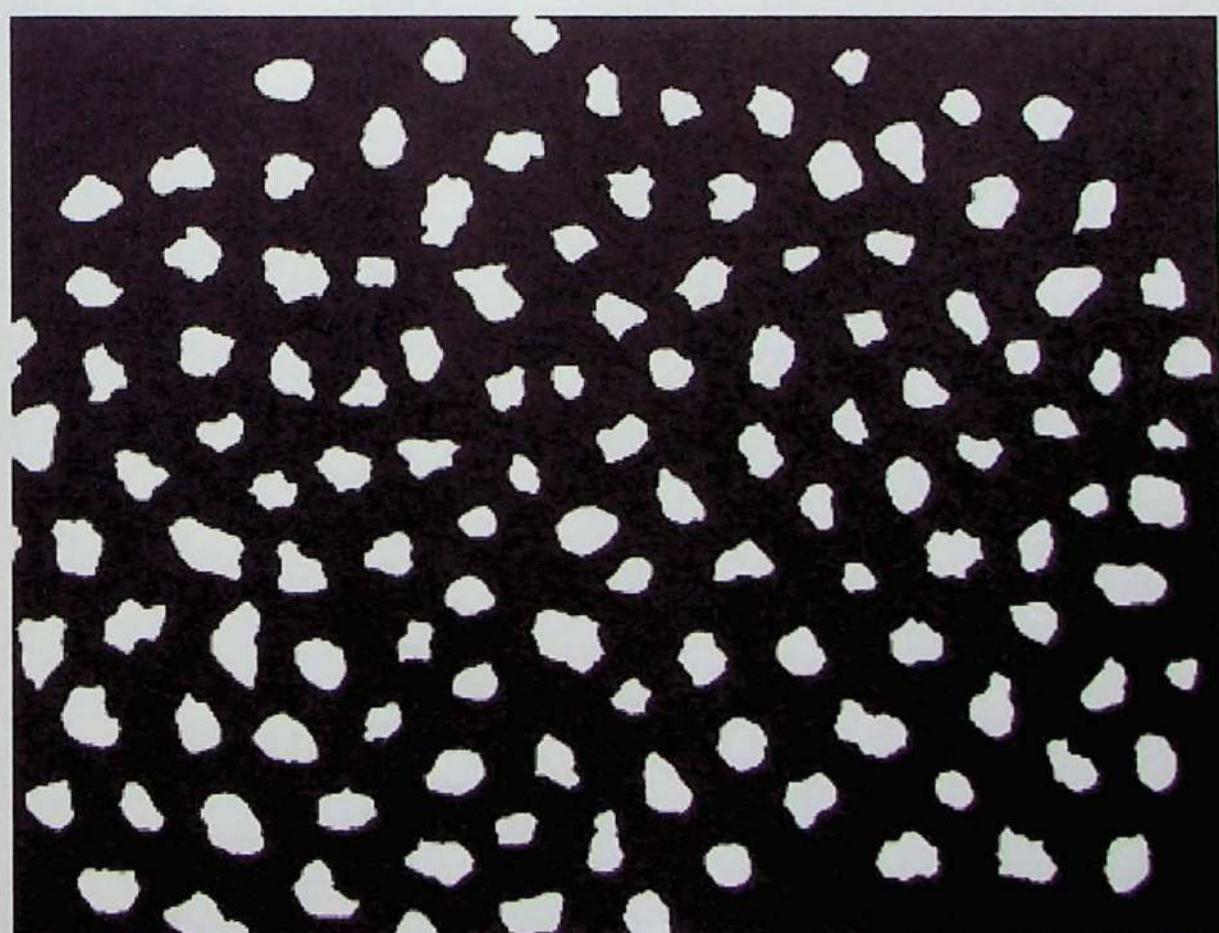
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de moagem de quartzito malha #28
(0,6mm)

82	0,765	1,159	0,9
83	0,718	1,057	0,8
84	1,286	1,484	0,8
85	0,699	1,199	0,8
86	1,523	1,565	0,9
87	0,966	1,565	0,7
88	1,617	1,87	0,6
89	0,67	1,199	0,7
90	1,15	1,504	0,8
91	1,288	1,504	0,8
92	0,851	1,159	0,8
93	0,842	1,26	0,8
94	1,222	1,585	0,7
95	1,288	1,545	0,8
96	1,287	1,402	0,9
97	1,46	1,667	0,8
98	1,617	2,033	0,7
99	0,796	1,321	0,8
100	1,029	1,321	0,9
101	1,813	2,175	0,7
102	0,87	1,341	0,8
103	0,696	1,118	0,7
104	1,179	1,626	0,7
105	1,965	2,053	0,7
106	1,125	1,606	0,7
107	0,863	1,26	0,7
108	1,866	2,012	0,7
109	1,608	1,687	0,8
110	1,459	1,524	0,8
111	0,738	1,118	0,8
112	1,119	1,321	0,9
113	1,344	1,646	0,8
114	1,347	1,545	0,9
115	0,595	1,077	0,7
116	1,529	1,768	0,7
117	1,981	2,114	0,7
118	1,355	1,524	0,9
119	1,225	1,565	0,7
120	1,685	1,626	0,8

Média	1,173	1,505	0,8
Desvio Padrão	0,401	0,316	0,1
Máximo	2,295	2,378	0,9
Mínimo	0,423	0,894	0,5



Grãos de areia de moagem de quartzito representativos da malha #48 (0,3mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de moagem de quartzito malha #48 (0,3mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de moagem de quartzito malha #48 (0,3mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,209	0,65	0,8
2	0,239	0,61	0,9
3	0,152	0,508	0,8
4	0,313	0,752	0,9
5	0,222	0,711	0,8
6	0,183	0,549	0,9
7	0,186	0,589	0,8
8	0,281	0,752	0,8
9	0,272	0,691	0,9
10	0,335	0,793	0,8
11	0,288	0,793	0,7
12	0,352	0,854	0,8
13	0,337	0,813	0,7
14	0,26	0,671	0,8
15	0,387	0,772	0,9
16	0,279	0,732	0,7
17	0,299	0,772	0,9
18	0,285	0,732	0,8
19	0,36	0,752	0,8
20	0,27	0,833	0,7
21	0,425	0,976	0,7
22	0,194	0,61	0,8
23	0,207	0,65	0,8
24	0,114	0,508	0,8
25	0,319	0,732	0,7
26	0,171	0,549	0,8
27	0,424	0,915	0,8
28	0,245	0,691	0,8
29	0,309	0,813	0,7
30	0,285	0,691	0,8
31	0,397	0,915	0,8
32	0,398	0,976	0,7
33	0,247	0,691	0,8
34	0,245	0,752	0,8
35	0,185	0,61	0,8
36	0,328	0,752	0,8
37	0,17	0,528	0,9
38	0,256	0,65	0,9
39	0,276	0,711	0,8
40	0,35	0,793	0,8
41	0,236	0,61	0,9
42	0,177	0,589	0,9
43	0,261	0,813	0,8
44	0,143	0,488	0,9
45	0,251	0,732	0,7
46	0,19	0,63	0,8
47	0,223	0,65	0,8
48	0,203	0,63	0,7
49	0,183	0,65	0,7
50	0,175	0,61	0,7
51	0,19	0,61	0,8
52	0,141	0,549	0,8
53	0,266	0,711	0,8
54	0,408	0,915	0,7
55	0,188	0,63	0,7
56	0,271	0,813	0,7
57	0,272	0,711	0,8
58	0,282	0,752	0,7
59	0,147	0,569	0,8
60	0,266	0,711	0,8
61	0,211	0,63	0,8
62	0,317	0,732	0,9
63	0,157	0,508	0,9
64	0,278	0,833	0,7
65	0,403	0,874	0,9
66	0,201	0,61	0,8
67	0,151	0,488	0,9
68	0,375	0,833	0,9
69	0,232	0,711	0,9
70	0,347	0,813	0,8
71	0,251	0,671	0,8
72	0,473	1,098	0,7
73	0,346	0,793	0,7
74	0,27	0,813	0,7
75	0,29	0,813	0,7
76	0,197	0,63	0,9

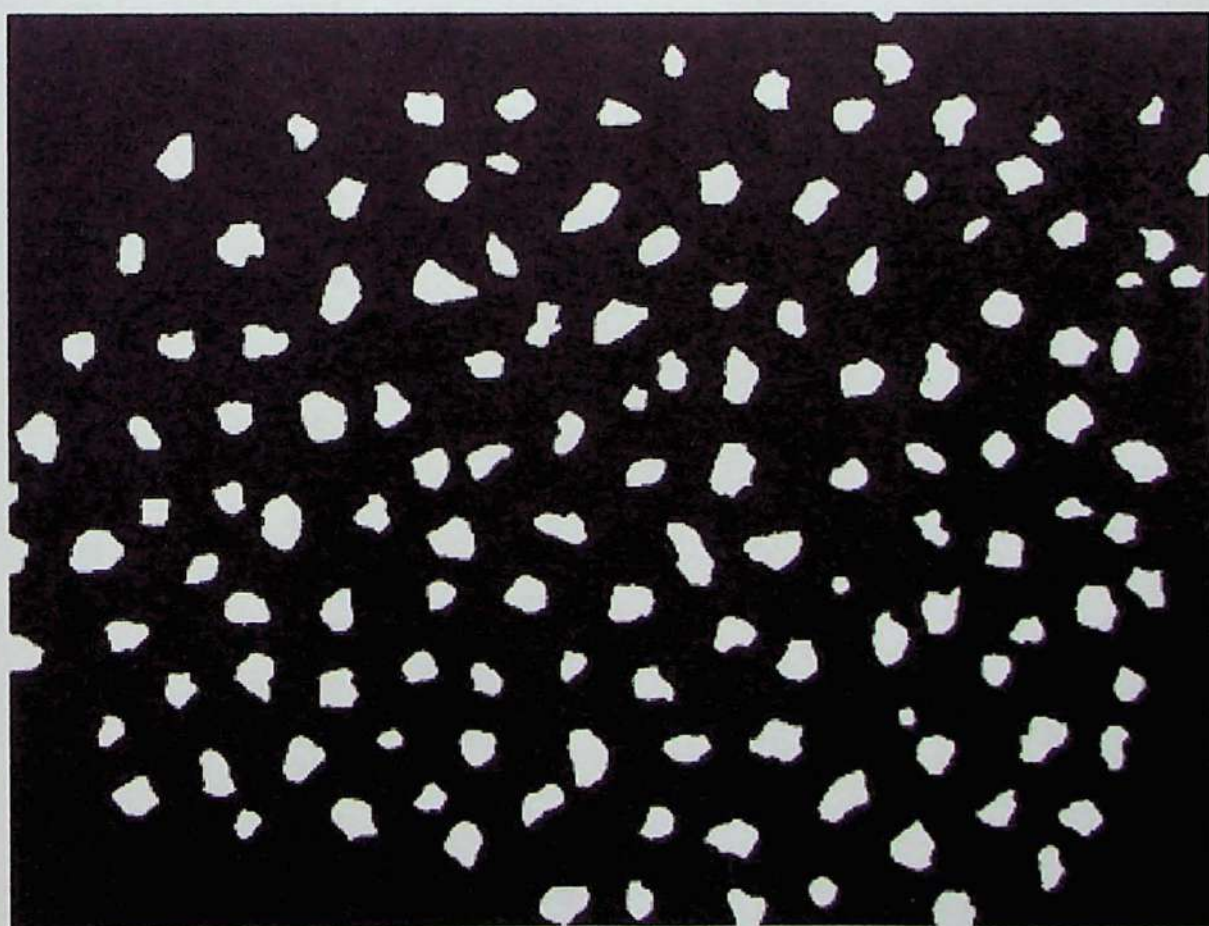
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de moagem de quartzito malha #48 (0,3mm)

77	0,133	0,488	0,9
78	0,404	0,955	0,8
79	0,238	0,65	0,9
80	0,24	0,671	0,8
81	0,338	0,874	0,7
82	0,18	0,61	0,7
83	0,297	0,732	0,9
84	0,516	0,996	0,8
85	0,288	0,671	0,9
86	0,384	0,955	0,7
87	0,449	1,098	0,7
88	0,306	0,711	0,8
89	0,32	0,732	0,9
90	0,126	0,467	0,8
91	0,214	0,61	0,9
92	0,259	0,732	0,8
93	0,155	0,528	0,7
94	0,333	0,833	0,7
95	0,171	0,63	0,7
96	0,395	0,854	0,8
97	0,293	0,752	0,8
98	0,435	0,996	0,7
99	0,363	0,874	0,8
100	0,331	0,691	0,9
101	0,26	0,772	0,8
102	0,273	0,813	0,7
103	0,311	0,732	0,9
104	0,339	0,793	0,9
105	0,187	0,549	0,9
106	0,335	0,854	0,8
107	0,264	0,65	0,8
108	0,217	0,711	0,8
109	0,302	0,772	0,8
110	0,315	0,752	0,8
111	0,175	0,569	0,8
112	0,452	0,955	0,9
113	0,251	0,793	0,7
114	0,368	0,854	0,8
115	0,359	0,894	0,7
116	0,344	0,894	0,7
117	0,261	0,63	0,9
118	0,342	0,813	0,9
119	0,34	0,772	0,8
120	0,356	0,874	0,7
121	0,34	0,833	0,8

Média	0,278	0,731	0,8
Desvio Padrão	0,084	0,132	0,1
Máximo	0,516	1,098	0,9
Mínimo	0,114	0,467	0,7



Grãos de areia de moagem de quartzito representativos da malha #100 (0,15mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de moagem de quartzito malha #100 (0,15mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de moagem de quartzito malha #100 (0,15mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,032	0,325	0,6
2	0,088	0,427	0,8
3	0,188	0,569	0,8
4	0,176	0,549	0,8
5	0,155	0,528	0,9
6	0,184	0,589	0,8
7	0,136	0,589	0,7
8	0,084	0,427	0,8
9	0,183	0,569	0,9
10	0,114	0,447	0,8
11	0,243	0,691	0,8
12	0,117	0,467	0,8
13	0,078	0,447	0,7
14	0,2	0,63	0,9
15	0,21	0,65	0,8
16	0,136	0,569	0,8
17	0,222	0,61	0,9
18	0,09	0,407	0,8
19	0,229	0,63	0,8
20	0,186	0,589	0,8
21	0,21	0,671	0,7
22	0,28	0,915	0,7
23	0,071	0,427	0,7
24	0,184	0,549	0,8
25	0,14	0,549	0,7
26	0,25	0,671	0,8
27	0,192	0,61	0,8
28	0,143	0,569	0,7
29	0,146	0,63	0,7
30	0,055	0,366	0,7
31	0,099	0,488	0,8
32	0,173	0,691	0,8
33	0,29	0,833	0,7
34	0,121	0,528	0,8
35	0,272	0,793	0,8
36	0,209	0,569	0,9
37	0,148	0,528	0,9
38	0,266	0,813	0,7
39	0,167	0,63	0,6
40	0,138	0,488	0,8
41	0,194	0,61	0,7
42	0,148	0,508	0,8
43	0,229	0,671	0,8
44	0,169	0,589	0,8
45	0,143	0,528	0,8
46	0,155	0,528	0,8
47	0,219	0,61	0,9
48	0,261	0,752	0,8
49	0,247	0,752	0,7
50	0,076	0,366	0,8
51	0,185	0,589	0,8
52	0,156	0,488	0,9
53	0,302	0,711	0,9
54	0,265	0,65	0,9
55	0,121	0,528	0,8
56	0,157	0,589	0,8
57	0,236	0,65	0,8
58	0,15	0,467	0,9
59	0,143	0,61	0,8
60	0,161	0,63	0,7
61	0,268	0,793	0,8
62	0,147	0,589	0,8
63	0,185	0,549	0,8
64	0,15	0,528	0,8
65	0,302	0,732	0,8
66	0,126	0,467	0,9
67	0,092	0,508	0,7
68	0,114	0,467	0,8
69	0,145	0,508	0,7
70	0,127	0,467	0,9
71	0,197	0,732	0,7
72	0,285	0,732	0,9
73	0,127	0,549	0,6
74	0,247	0,65	0,8
75	0,278	0,691	0,9
76	0,197	0,589	0,8

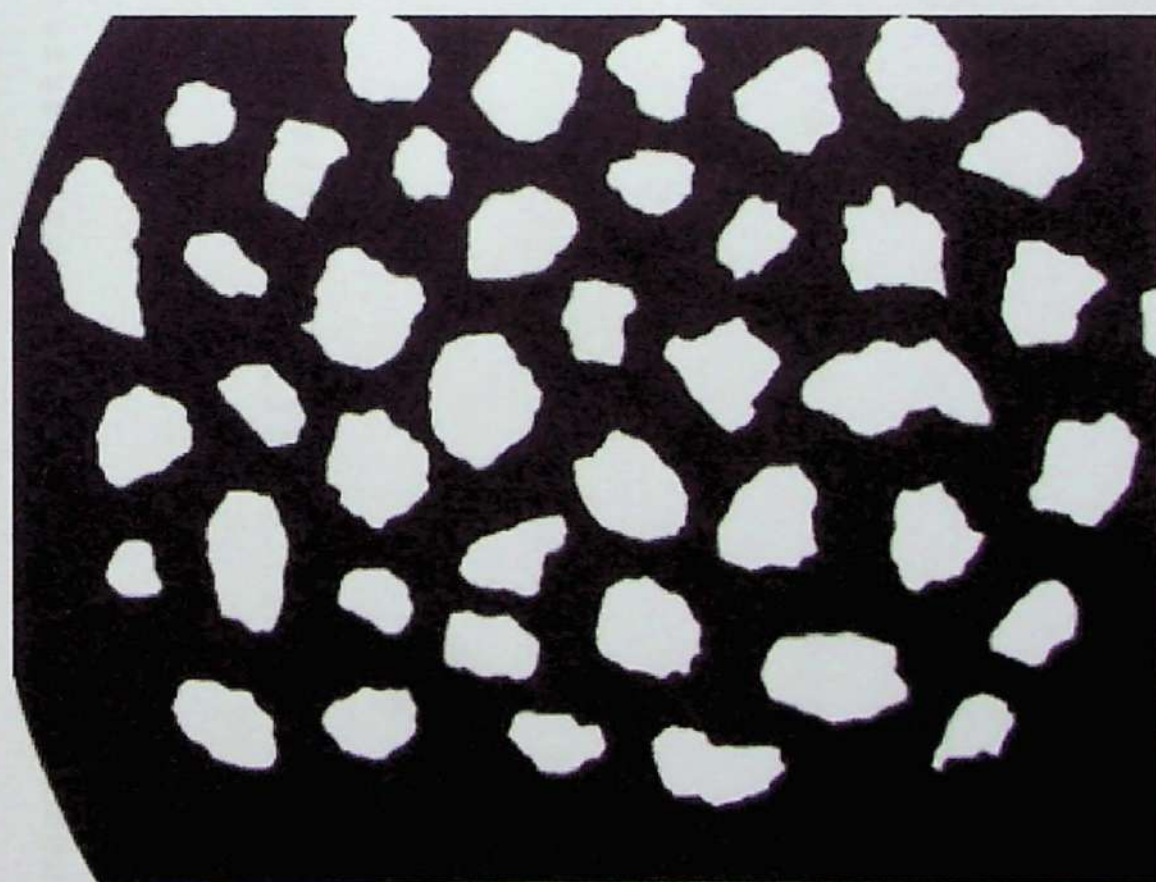
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de moagem de quartzito malha #100 (0,15mm)

77	0,27	0,793	0,7
78	0,123	0,528	0,8
79	0,308	0,955	0,7
80	0,044	0,244	0,9
81	0,111	0,427	0,9
82	0,176	0,61	0,7
83	0,201	0,589	0,9
84	0,195	0,63	0,9
85	0,23	0,65	0,8
86	0,173	0,589	0,8
87	0,246	0,65	0,8
88	0,217	0,711	0,7
89	0,112	0,447	0,8
90	0,164	0,569	0,8
91	0,183	0,589	0,8
92	0,233	0,711	0,8
93	0,142	0,467	0,8
94	0,102	0,447	0,8
95	0,215	0,589	0,8
96	0,131	0,447	0,9
97	0,129	0,508	0,8
98	0,207	0,65	0,8
99	0,175	0,63	0,7
100	0,13	0,467	0,9
101	0,131	0,488	0,8
102	0,205	0,589	0,8
103	0,045	0,264	0,8
104	0,097	0,447	0,8
105	0,064	0,325	0,9
106	0,173	0,65	0,8
107	0,268	0,752	0,7
108	0,255	0,752	0,7
109	0,175	0,508	0,9
110	0,151	0,589	0,7
111	0,19	0,549	0,9
112	0,218	0,61	0,8
113	0,297	0,772	0,8
114	0,187	0,65	0,7
115	0,105	0,447	0,8
116	0,198	0,589	0,9
117	0,276	0,833	0,8
118	0,176	0,671	0,7
119	0,152	0,61	0,7
120	0,089	0,386	0,9
121	0,179	0,61	0,8
122	0,225	0,671	0,8
123	0,141	0,508	0,8
124	0,236	0,732	0,8
125	0,205	0,61	0,9
126	0,256	0,63	0,8
127	0,14	0,569	0,7
128	0,109	0,386	0,9
129	0,129	0,488	0,8

Média	0,175	0,581	0,8
Desvio Padrão	0,062	0,124	0,1
Máximo	0,308	0,955	0,9
Mínimo	0,032	0,244	0,6



Grãos de areia de desmonte hidráulico representativos da malha #28 (0,6mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de desmonte hidráulico malha #28 (0,6mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de desmonte hidráulico malha #28
(0,6mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	1,426	1,585	0,9
2	1,124	1,382	0,8
3	1,534	1,545	0,9
4	0,63	1,016	0,8
5	1,404	1,524	0,8
6	0,596	1,037	0,8
7	1,318	1,748	0,8
8	0,772	1,22	0,8
9	0,934	1,362	0,7
10	1,44	1,667	0,9
11	0,766	1,179	0,8
12	0,641	1,24	0,8
13	1,551	1,87	0,6
14	2,161	2,52	0,7
15	1,457	1,565	0,8
16	0,869	1,28	0,8
17	1,79	1,707	0,8
18	1,439	1,626	0,8
19	2,272	2,663	0,6
20	0,832	1,321	0,8
21	2,026	1,85	0,9
22	1,218	1,423	0,9
23	1,585	1,728	0,8
24	1,582	1,646	0,8
25	1,608	1,768	0,8
26	1,535	1,646	0,8
27	1,288	1,524	0,8
28	0,433	0,854	0,9
29	1,015	1,585	0,7
30	1,616	1,992	0,8
31	0,647	1,077	0,9
32	0,906	1,341	0,8
33	0,955	1,402	0,8
34	1,493	1,626	0,8
35	1,899	2,053	0,8
36	0,942	1,301	0,9
37	1,164	1,626	0,8
38	0,685	1,362	0,6
39	0,796	1,362	0,8
40	1,315	1,85	0,7
41	1,867	2,073	0,8
42	0,575	1,24	0,7
43	0,986	1,87	0,6
44	0,708	1,24	0,7
45	1,278	1,524	0,8
46	0,754	1,179	0,9
47	2,269	2,175	0,8
48	1,124	1,321	0,9
49	2,297	2,297	0,7
50	1,084	1,402	0,9
51	1,445	1,646	0,8
52	0,698	1,098	0,8
53	1,428	1,768	0,7
54	0,89	1,341	0,8
55	1,354	1,951	0,7
56	1,187	1,809	0,7
57	0,867	1,341	0,7
58	0,545	0,955	0,9
59	0,762	1,26	0,8
60	1,063	1,463	0,8
61	1,439	1,646	0,8
62	1,411	1,545	0,9
63	2,133	2,033	0,8
64	1,396	1,809	0,7
65	1,481	1,687	0,8
66	0,583	0,996	0,9
67	0,871	1,362	0,8
68	0,81	1,443	0,7
69	1,488	1,626	0,8
70	0,86	1,301	0,8
71	0,77	1,301	0,9
72	1,82	1,748	0,9
73	0,876	1,179	0,8
74	0,942	1,362	0,7
75	1,374	1,687	0,8
76	1,131	1,443	0,8
77	1,243	1,748	0,7
78	0,814	1,301	0,8
79	1,045	1,341	0,8
80	0,456	0,874	0,8
81	0,675	1,301	0,7

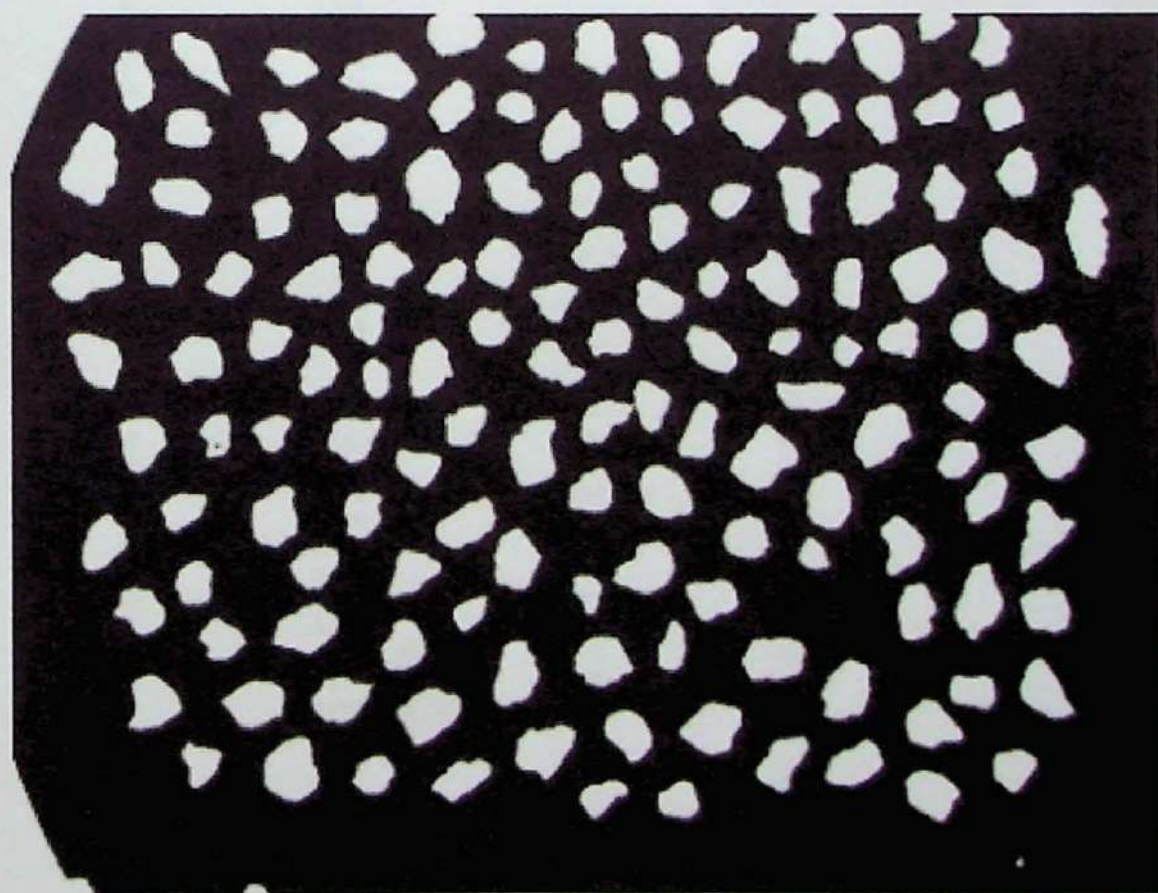
Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de desmonte hidráulico malha #28 (0,6mm)

82	1,011	1,463	0,8
83	1,693	1,85	0,8
84	1,528	1,789	0,8
85	0,605	1,037	0,8
86	0,97	1,585	0,7
87	1,286	1,545	0,8
88	1,033	1,687	0,7
89	0,888	1,362	0,8
90	1,175	1,443	0,8
91	0,511	1,118	0,7
92	1,478	1,667	0,8
93	1,345	1,443	0,9
94	0,903	1,362	0,8
95	0,86	1,28	0,8
96	0,783	1,382	0,7
97	1,912	2,337	0,7
98	0,72	1,179	0,8
99	0,735	1,179	0,8
100	0,779	1,24	0,8
101	0,886	1,28	0,8
102	1,489	1,606	0,8
103	0,963	1,484	0,7
104	0,613	1,057	0,9
105	1,097	1,443	0,8
106	0,667	1,037	0,9
107	1,041	1,484	0,8
108	1,757	1,85	0,8
109	0,739	1,199	0,8
110	1,238	1,687	0,8
111	1,347	2,073	0,7
112	1,616	1,931	0,8
113	1,47	1,565	0,9
114	1,009	1,321	0,9
115	1,743	1,911	0,8
116	0,906	1,301	0,8
117	1,332	1,524	0,8
118	1,085	1,443	0,8
119	0,827	1,301	0,8
120	1,569	1,606	0,9

Média	1,167	1,515	0,8
Desvio Padrão	0,430	0,327	0,1
Máximo	2,297	2,663	0,9
Mínimo	0,433	0,854	0,6



Grãos de areia de desmorte hidráulico representativos da malha #48 (0,3mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de desmorte hidráulico malha #48 (0,3mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de desmonte hidráulico malha #48
(0,3mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,3	0,833	0,8
2	0,172	0,549	0,9
3	0,218	0,671	0,8
4	0,205	0,569	0,9
5	0,278	0,752	0,8
6	0,222	0,61	0,8
7	0,16	0,528	0,9
8	0,252	0,65	0,8
9	0,261	0,732	0,8
10	0,257	0,65	0,9
11	0,415	0,915	0,8
12	0,312	0,793	0,8
13	0,307	0,772	0,8
14	0,269	0,752	0,8
15	0,197	0,589	0,9
16	0,286	0,691	0,9
17	0,566	1,098	0,8
18	0,357	0,854	0,8
19	0,307	0,813	0,8
20	0,207	0,65	0,9
21	0,198	0,61	0,9
22	0,294	0,772	0,8
23	0,524	1,016	0,8
24	0,463	0,935	0,8
25	0,261	0,65	0,8
26	0,358	1,016	0,6
27	0,247	0,671	0,8
28	0,268	0,671	0,9
29	0,324	0,772	0,9
30	0,543	1,26	0,7
31	0,229	0,671	0,9
32	0,274	0,65	0,9
33	0,309	0,711	0,9
34	0,512	1,016	0,8
35	0,251	0,671	0,8
36	0,183	0,63	0,8
37	0,406	0,955	0,8
38	0,159	0,528	0,9
39	0,32	0,833	0,8
40	0,432	0,833	0,9
41	0,338	0,813	0,8
42	0,234	0,711	0,8
43	0,273	0,732	0,8
44	0,228	0,65	0,8
45	0,205	0,589	0,8
46	0,223	0,589	0,9
47	0,233	0,589	0,9
48	0,124	0,488	0,9
49	0,239	0,63	0,8
50	0,241	0,65	0,8
51	0,222	0,61	0,8
52	0,124	0,447	0,9
53	0,3	0,833	0,8
54	0,335	0,732	0,9
55	0,376	0,915	0,8
56	0,285	0,813	0,7
57	0,46	0,955	0,8
58	0,24	0,691	0,8
59	0,329	0,833	0,8
60	0,16	0,549	0,9
61	0,298	0,955	0,7
62	0,207	0,589	0,9
63	0,523	1,321	0,4
64	0,236	0,711	0,8
65	0,176	0,549	0,8
66	0,18	0,65	0,6
67	0,292	0,833	0,7
68	0,319	0,793	0,8
69	0,455	0,935	0,8
70	0,338	0,772	0,8
71	0,219	0,65	0,9
72	0,395	0,833	0,9
73	0,219	0,63	0,8
74	0,451	0,996	0,7
75	0,497	0,955	0,8
76	0,278	0,711	0,8
77	0,397	0,874	0,8
78	0,269	0,793	0,8
79	0,22	0,671	0,8
80	0,38	0,793	0,9
81	0,256	0,671	0,8

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de desmonte hidráulico malha #48
(0,3mm)

82	0,384	0,874	0,8
83	0,36	0,874	0,8
84	0,281	0,65	0,9
85	0,307	0,813	0,8
86	0,132	0,488	0,8
87	0,385	0,996	0,6
88	0,316	0,793	0,8
89	0,273	0,691	0,8
90	0,387	0,833	0,8
91	0,402	0,874	0,8
92	0,289	0,833	0,7
93	0,233	0,63	0,9
94	0,15	0,569	0,8
95	0,292	0,772	0,8
96	0,29	0,691	0,8
97	0,155	0,589	0,8
98	0,33	0,752	0,9
99	0,311	0,793	0,8
100	0,443	1,057	0,7
101	0,405	0,935	0,8
102	0,232	0,63	0,8
103	0,31	0,732	0,9
104	0,195	0,671	0,8
105	0,414	0,894	0,8
106	0,389	0,813	0,8
107	0,4	0,935	0,8
108	0,237	0,65	0,8
109	0,409	0,894	0,8
110	0,364	0,915	0,8
111	0,359	0,874	0,8
112	0,359	0,772	0,8
113	0,387	0,833	0,8
114	0,44	0,894	0,9
115	0,347	0,833	0,8
116	0,417	0,915	0,8
117	0,317	0,752	0,8
118	0,409	0,894	0,8
119	0,212	0,63	0,7
120	0,326	0,833	0,8
121	0,327	0,854	0,7
122	0,246	0,63	0,9
123	0,215	0,589	0,9
124	0,48	0,874	0,9
125	0,268	0,833	0,7
126	0,206	0,671	0,8
127	0,222	0,589	0,9
128	0,349	0,772	0,9
129	0,01	0,142	0,7

Média	0,301	0,757	0,8
Desvio Padrão	0,099	0,160	0,1
Máximo	0,566	1,321	0,9
Mínimo	0,010	0,142	0,4



Grãos de areia de desmonte hidráulico representativos da malha #100 (0,15mm)



"Imagem binário" obtida a partir dos grãos de areia de desmonte hidráulico malha #100 (0,15mm)

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de desmonte hidráulico malha #100
(0,15mm)

Grão	Area (mm²)	Comprimento (mm)	Arredondamento
1	0,035	0,249	0,8
2	0,11	0,451	0,8
3	0,029	0,273	0,7
4	0,029	0,296	0,6
5	0,026	0,249	0,7
6	0,045	0,285	0,8
7	0,034	0,261	0,9
8	0,053	0,344	0,8
9	0,095	0,439	0,8
10	0,065	0,403	0,7
11	0,109	0,498	0,8
12	0,029	0,237	0,9
13	0,03	0,261	0,7
14	0,138	0,474	0,9
15	0,033	0,237	0,8
16	0,043	0,273	0,8
17	0,057	0,32	0,8
18	0,046	0,32	0,8
19	0,111	0,522	0,8
20	0,141	0,593	0,8
21	0,035	0,249	0,9
22	0,122	0,474	0,8
23	0,101	0,498	0,8
24	0,03	0,249	0,8
25	0,041	0,308	0,8
26	0,061	0,344	0,8
27	0,044	0,308	0,8
28	0,05	0,356	0,8
29	0,061	0,344	0,8
30	0,083	0,451	0,7
31	0,042	0,285	0,8
32	0,032	0,308	0,7
33	0,048	0,308	0,9
34	0,039	0,261	0,8
35	0,063	0,344	0,8
36	0,075	0,427	0,6
37	0,08	0,451	0,7
38	0,186	0,759	0,6
39	0,08	0,368	0,9
40	0,039	0,273	0,8
41	0,028	0,225	0,8
42	0,084	0,427	0,7
43	0,033	0,273	0,8
44	0,131	0,522	0,7
45	0,059	0,368	0,7
46	0,068	0,332	0,8
47	0,049	0,285	0,8
48	0,054	0,332	0,7
49	0,065	0,344	0,9
50	0,04	0,285	0,8
51	0,026	0,202	0,8
52	0,033	0,237	0,9
53	0,205	0,771	0,6
54	0,033	0,273	0,8
55	0,112	0,439	0,9
56	0,042	0,296	0,8
57	0,079	0,427	0,8
58	0,117	0,569	0,7
59	0,054	0,356	0,7
60	0,042	0,332	0,8
61	0,126	0,593	0,7
62	0,053	0,308	0,8
63	0,037	0,285	0,8
64	0,048	0,285	0,8
65	0,095	0,439	0,8
66	0,13	0,51	0,7
67	0,038	0,273	0,8
68	0,04	0,273	0,8
69	0,033	0,249	0,7
70	0,037	0,273	0,8
71	0,131	0,486	0,9
72	0,078	0,403	0,8
73	0,04	0,285	0,7
74	0,075	0,368	0,8
75	0,113	0,474	0,8
76	0,05	0,32	0,8
77	0,041	0,285	0,8
78	0,056	0,344	0,7
79	0,051	0,32	0,8
80	0,116	0,51	0,8
81	0,069	0,356	0,9

Tabela dos resultados da avaliação de microscopia óptica dos grãos da areia de desmonte hidráulico malha #100
(0,15mm)

82	0,043	0,368	0,7
83	0,034	0,261	0,8
84	0,03	0,237	0,8
85	0,09	0,593	0,6
86	0,097	0,439	0,7
87	0,112	0,439	0,9
88	0,098	0,439	0,8
89	0,036	0,249	0,8
90	0,037	0,261	0,9
91	0,129	0,534	0,8
92	0,057	0,379	0,7
93	0,026	0,213	0,8
94	0,159	0,605	0,7
95	0,038	0,273	0,8
96	0,073	0,391	0,8
97	0,113	0,462	0,8
98	0,051	0,308	0,9
99	0,048	0,308	0,8
100	0,033	0,249	0,8
101	0,054	0,368	0,7
102	0,173	0,605	0,8
103	0,082	0,344	0,9
104	0,078	0,462	0,7
105	0,042	0,296	0,9
106	0,069	0,391	0,8
107	0,106	0,427	0,7
108	0,105	0,498	0,7
109	0,137	0,593	0,6
110	0,061	0,368	0,8
111	0,037	0,285	0,7
112	0,034	0,261	0,8
113	0,073	0,344	0,9
114	0,097	0,415	0,8
115	0,083	0,368	0,9
116	0,088	0,415	0,8
117	0,133	0,605	0,7
118	0,058	0,379	0,8
119	0,057	0,368	0,8
120	0,048	0,308	0,9
121	0,05	0,356	0,7
122	0,11	0,534	0,7
123	0,109	0,486	0,8
124	0,043	0,261	0,8
125	0,069	0,391	0,6
126	0,053	0,439	0,6
127	0,091	0,403	0,8
128	0,037	0,285	0,8
129	0,068	0,368	0,8
130	0,052	0,285	0,9

Média	0,069	0,371	0,8
Desvio Padrão	0,037	0,112	0,1
Máximo	0,205	0,771	0,9
Mínimo	0,026	0,202	0,6

