

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TEXTURAIS DAS AREIAS
NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS MISTAS DE
REVESTIMENTO**

FERNANDO AVANCINI TRISTÃO

Florianópolis

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TEXTURAIS DAS AREIAS
NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS MISTAS DE
REVESTIMENTO**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientação: Prof. Humberto Ramos Roman

FERNANDO AVANCINI TRISTÃO

Florianópolis

2005

FERNANDO AVANCINI TRISTÃO

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TEXTURAIIS DAS AREIAS
NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS MISTAS DE
REVESTIMENTO**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil.

Florianópolis, de julho de 2005

Prof^a. Henriette Lebre La Rovere - Coordenadora do PPGEC/UFSC

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Humberto Ramos Roman(orientador)

Maria Alba Cincotto, Dra. (USP)

Vicente Coney Campiteli, Dr. (UEPG)

Celso Peres Fernandes, Dr. (UFSC)

Denise Antunes da Silva, Dra. (UFSC)

Philippe Gleize, Dr. (UFSC)

**À Ana, João Gabriel, André e Elisa
À minha mãe Glória.**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo pelo incentivo e apoio integral a realização deste trabalho.

Ao Professor Humberto Ramos Roman pela orientação e amizade estabelecida.

Aos Professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina pelos incentivos e críticas construtivas durante a realização deste trabalho.

À CAPES pela ajuda financeira.

Às empresas SAIBRITA e Mineração Lima pela cessão das areias para a parte experimental deste trabalho.

Ao Professor Marciano Maccarini do Laboratório de Mecânica dos Solos pelo empréstimo de equipamentos.

Ao Professor Luis Alberto Gómez pela ajuda na montagem dos experimentos.

Ao Professor Wellington Longuini Repette no auxílio à execução do ensaio de granulometria a laser.

À Professora Janaíde Cavalcante Rocha pelo empréstimo de equipamentos e a todos membros do Grupo VALORES.

Ao Professor Luiz Roberto Prudêncio Júnior pelo empréstimo de equipamentos e incentivo à realização da parte experimental e a todos membros do GTeC – Grupo de Tecnologia em concreto.

Aos Professores Narbal Ataliba Marcellino e Carlos Alberto Szücs do Laboratório de Estruturas da UFSC pelo empréstimo de equipamentos.

Ao Professor Vicente Coney Campiteli da Universidade Estadual de Ponta Grossa pela amizade e pelas inúmeras críticas construtivas e empréstimo de equipamento.

À Professora Maria Alba Cincotto pelo incentivo deste trabalho.

Aos Professores Philippe Jean Paul Gleize e Denise Antunes da Silva pelas críticas construtivas ao trabalho realizado.

À Professora Geresa Maria Duarte do programa de pós-graduação em Geografia da UFSC pelas bibliografias na área de geologia.

Ao Professor João Carlos Rocha Gré do Laboratório de Sedimentologia do programa de pós-graduação em Geografia da UFSC pelo empréstimo de equipamentos.

Ao Laboratório de engenharia de Alimentos da UFSC pelo empréstimo de equipamentos.

Aos laboratoristas Luiz e Renato do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC.

Ao CERTI – Centro Regional de Tecnologia em Informática de Santa Catarina, pela colaboração no empréstimo de equipamentos.

Ao Professor Celso Fernandes Peres pelas ricas e construtivas críticas ao trabalho e pela ajuda na operacionalização do programa IMAGO.

À empresa ESSS pela disponibilização do programa IMAGO.

Aos membros dos Laboratórios de Materiais de Construção e Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas , da Engenharia Mecânica da UFSC.

Aos amigos e colegas do curso de pós graduação pela rica convivência e apoio.

Com carinho especial a todos colegas, amigos, alunos, estagiários e agregados do GDA - Grupo de Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural pela amizade, companheirismo e incentivo.

A todos que de forma indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Grão, montanha, escassez, vida.

TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** 286 f. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

RESUMO

Existe uma enorme variabilidade das areias para argamassas, tanto no que se refere à sua distribuição granulométrica quanto nas características geométricas de caráter textural dos grãos, tais como a esfericidade, arredondamento e rugosidade dos grãos, que interferem no proporcionamento dos materiais e se refletem nas propriedades das argamassas. O objetivo do trabalho é estudar a variação das propriedades das argamassas mistas de cimento portland e cal para revestimento de paredes e tetos, com relação aos diferentes aspectos texturais das areias, considerando-se a distribuição granulométrica, forma e textura dos grãos das areias. Apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre as origens das areias para construção civil, com detalhes sobre os aspectos morfológicos dos grãos relacionados com a origem dos sedimentos. Descrevem-se os procedimentos para quantificação e caracterização da textura superficial dos grãos bem como da forma, relacionados com a distribuição granulométrica, arredondamento e esfericidade. Escolhe-se como objeto de estudo três tipos de areias, uma de origem eólica, uma de leito de rio e uma terceira advinda do britamento de rocha para produção de britas. Todas as areias provenientes do Estado de Santa Catarina. Foram avaliadas areias com sete distribuições granulométricas distintas, escolhidas e baseadas nos parâmetros: coeficiente de uniformidade, teor de finos abaixo da peneira ABNT 0,075mm e área específica. O proporcionamento dos materiais teve como base uma argamassa considerada adequada para revestimento de tetos e paredes, sendo que no estado fresco as argamassas apresentaram índice de consistência no intervalo de (265 ± 15) mm. A relação cal / cimento em volume aparente foi de 1 e 2, e a relação agregado / aglomerantes em volume aparente igual a 3. Foram avaliadas argamassas com proporcionamento dos materiais em volume aparente (cimento:cal hidratada:areia seca) igual a 1:1:6 e 1:2:9. A partir destas proporções foram produzidas quatorze argamassas, sendo sete para argamassas com areia de pedra e sete argamassas com areia de duna. A areia de leito de rio já foi analisada por Tristão (1995), cujos resultados foram reavaliados sob o enfoque ora adotado, que são os parâmetros morfológicos dos grãos. Concluiu-se que a influência da forma dos grãos da areia foi maior do que a sua distribuição granulométrica, principalmente no proporcionamento de água. E que quanto maior a esfericidade e o fator de forma, menor a quantidade de água usada nas argamassas.

Palavras- chave: Argamassas, areia, granulometria, esfericidade, arredondamento.

TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** 286 f. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ABSTRACT

The variability of the characteristics of sands available for mortars production is enormous, regarding both the grain size distribution and the geometric characteristics of textural character of the grains, such as sphericity, roundness and surface texture of the grains. These characteristics affect the contents of the constituent materials of the mortars. The procedures for quantification and characterization of the superficial texture as well as of the form are described, related with the grain sized distribution, rounding and sphericity. Sands from three different sources were selected for the research, namely aeolian origin, river bed and crushed stone. All the sands proceeding from the State of Santa Catarina. Sands with seven distinct grain size distributions have been prepared.. The proportioning of the materials had as base a mortar considered adjusted for covering of ceilings and walls, being that in the cool state mortar had presented index of consistency in the interval of (265 ± 15) mm. The relation lime/cement in apparent volume was of 1 and 2, and the aggregate relation/agglomerative in equal apparent volume the 3. They had been evaluated mortars with proportioning of the materials in apparent volume (cement: hydrated lime :sand) equal 1:1:6 and 1:2:9. To leave of these ratios they had been produced fourteen mortars, being seven for mortars with sand of rock and seven mortars with dune sand. A sand of river stream bed already was analyzed by Tristão (1995), whose resulted they had been reevaluated under the adopted approach however, that they are the morphologic parameters of the grains. It was concluded that the influence of the form of the grains of the sand was bigger of the one than its grain sized distribution, mainly in the proportioning of water.

Key words : Mortars, sand, grain size distribution, rounding, sphericity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeções de grãos com formas variadas na fração 38 – 32 mm.....	33
Figura 2 – Variação do perímetro (p) com a escala de medida (λ).....	36
Figura 3 – Padrões gráficos dos graus de esfericidade e arredondamento (NBR 7389/92).....	39
Figura 4 – Classes de arredondamento (McLANE, 1995).....	40
Figura 5 – Avaliação da área e da área convexa da partícula.....	44
Figura 6 – Formas de grãos relacionados com a esfericidade.....	47
Figura 7 – Curva granulométrica das frações abaixo # 0,075 mm através de granulômetro a laser (porcentagem retida acumulada).....	55
Figura 8 – Curva granulométrica das frações abaixo # 0,075 mm através de granulômetro a laser (porcentagem retida).....	55
Figura 9 – Variação do arredondamento dos grãos das frações das areias.....	93
Figura 10 – Variação do fator de forma dos grãos das frações das areias.....	95
Figura 11 – Variação da esfericidade nas frações das areias.....	97
Figura 12 – Influência da esfericidade no índice de vazios das frações das areias.....	99
Figura 13 – Influência da esfericidade no índice de vazios das frações por tipo de areia.....	100
Figura 14 – Variação do índice de vazios com as frações e o tipo de areia.....	101
Figura 15 – Gráfico das áreas específicas das frações das areias.....	104
Figura 16 – Gráfico dos coeficientes angulares para cálculo da rugosidade das areias.....	115
Figura 17 –Variação das áreas específicas das areias em função do número de grãos.....	118
Figura 18 – Variação do volume de vazios das areias com os coeficientes de uniformidade.....	120
Figura 19 – Variação do volume de vazios das areias com os parâmetros texturais das areias.....	121
Figura 20 – Variação do volume de vazios das areias com a área específica.....	122
Figura 21 – Variação da relação água/materiais secos das argamassas com o volume de vazios das areias.....	126
Figura 22 – Variação do conteúdo de pasta com o volume de vazios das areias.....	127
Figura 23 – Variação da massa específica das argamassas no estado fresco com o volume de vazios das areias.....	131
Figura 24 – Variação da retenção de água das argamassas no estado fresco com o teor de finos.....	132

Figura 25 – Variação da retenção de consistência das argamassas no estado fresco com a relação agregado/aglomerantes.....	133
Figura 26 – Variação da retenção de consistência com a retenção de água das argamassas.....	134
Figura 27 – Gráfico da exsudação de água das argamassas com proporções de mistura em volume 1 : 1 : 6.....	135
Figura 28 – Gráfico da exsudação de água das argamassas com proporções de mistura em volume 1 : 2 : 9.....	135
Figura 29 – Retração plástica das argamassas com proporção de mistura 1: 1 : 6 (volume).....	137
Figura 30 – Retração plástica das argamassas com proporção de mistura 1: 2 : 9 (volume).....	137
Figura 31 – Retração plástica das argamassas em função da relação pasta/argamassa.....	138
Figura 32 – Retração plástica das argamassas em função da relação água/materiais secos.....	139
Figura 33 – Variação da relação água/materiais secos das argamassas com a área específica das areias.....	140
Figura 34 – Variação da relação água/materiais secos com a área específica das areias com identificação das areias utilizadas.....	141
Figura 35 – Variação da absorção por imersão e índice de vazios das argamassas com a relação água/materiais secos.....	145
Figura 36 – Variação da massa específica das argamassas com a relação água/materiais secos.....	145
Figura 37 – Absorção capilar das argamassas com proporção de mistura 1: 1 : 6 e 1 : 2 : 9 (volume), com areia de pedra.....	147
Figura 38 – Absorção capilar das argamassas com proporção de mistura 1 : 1 : 6 e 1: 2 : 9 (volume), com areia de duna.....	147
Figura 39 – Variação da absorção capilar das argamassas com a relação areia/argamassa.....	148
Figura 40 – Variação da absorção capilar das argamassas com a relação pasta/argamassa.....	149
Figura 41 – Variação da absorção capilar das argamassas com a relação água/materiais secos.....	150
Figura 42 – Variação da resistência à compressão axial das argamassas com a relação água/materiais secos.....	151
Figura 43 – Variação da resistência à tração por compressão diametral das argamassas com a relação água/materiais secos.....	151
Figura 44 – Variação da resistência à tração na flexão das argamassas com a relação água/materiais secos.....	152
Figura 45 – Variação da resistência à compressão axial das argamassas com o índice de vazios.....	153

Figura 46 – Variação da resistência à compressão axial com a resistência à compressão diametral das argamassas.....	154
Figura 47 – Variação do módulo de deformação das argamassas com a relação água/materiais secos.....	155
Figura 48 – Variação do módulo de deformação das argamassas com a resistência a flexão.....	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição granulométrica das frações segundo a série normal de peneiras, conforme a NBR 5734/88.....	57
Tabela 2 – Distribuição granulométrica das areias (porcentagem retida).....	58
Tabela 3 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna - fração 2,36 -1,18mm (328 grãos).....	59
Tabela 4 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna, fração 1,18 – 0,600mm (311 grãos).....	60
Tabela 5 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna, fração 0,600 – 0,300mm (335 grãos).....	60
Tabela 6 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna, fração 0,300 – 0,150mm (332 grãos).....	61
Tabela 7 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 4,75 – 2,36 mm (382 grãos).....	61
Tabela 8 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 2,36 – 1,18mm (321 grãos).....	62
Tabela 9 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 1,18 – 0,600mm (313 grãos).....	62
Tabela 10 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 0,600 – 0,300mm (344 grãos).....	63
Tabela 11 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 0,300 – 0,150mm (314 grãos).....	64
Tabela 12 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 4,75 – 2,36mm (306 grãos).....	64
Tabela 13 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 2,36 - 1,18mm (345 grãos).....	65
Tabela 14 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 1,18 – 0,600mm (355 grãos).....	65
Tabela 15 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 0,600 – 0,300mm (371 grãos).....	65
Tabela 16 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 0,300 – 0,150mm (359 grãos).....	66
Tabela 17- Massa específica média dos grãos das frações das areias.....	67
Tabela 18- Massa específica média das areias.....	67
Tabela 19- Massa média dos grãos das areias.....	68
Tabela 20- Número médio dos grãos por grama de fração de areia.....	69
Tabela 21- Volume médio dos grãos das areias.....	70
Tabela 22- Massa unitária das frações das areias.....	71
Tabela 23- Massa unitária das areias.....	71

Tabela 24- Massa unitária das areias conforme a NBR 7251/82.....	72
Tabela 25 – Caracterização física e química do cimento CP II-Z 32.....	80
Tabela 26– Caracterização física e química da cal hidratada CH - III.....	80
Tabela 27– Resultados médios das áreas e perímetros das projeções dos grãos das frações das areias.....	89
Tabela 28– Resultados médios das dimensões máximas e dos diâmetros equivalentes de área das projeções dos grãos das frações das areias.....	90
Tabela 29– Análise de variância (ANOVA) das médias da variável área, em mm ²	91
Tabela 30– Análise de variância (ANOVA) das médias da variável perímetro, em mm.....	91
Tabela 31– Análise de variância (ANOVA) das médias da variável dimensão máxima.....	91
Tabela 32– Arredondamento das frações das areias.....	92
Tabela 33 – Teste Tukey das médias da variável arredondamento.(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,01404, df = 8629,0).....	94
Tabela 34– Resultados médios do Fator de forma das frações das areias.....	94
Tabela 35– Teste Tukey das médias da variável fator de forma.(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00443, df = 8629,0).....	96
Tabela 36– Resultados médios da esfericidade das frações das areias.....	97
Tabela 37– Teste Tukey das médias da variável esfericidade.(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00588, df = 8629,0).....	98
Tabela 38– Resultados da dimensão fractal da rugosidade das frações das areias.....	102
Tabela 39– Resultados médios da área específica das frações das areias (m ² /kg).....	103
Tabela 40– Teste Tukey das médias da variável área específica esférica (m ² /kg).(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = 74,838, df = 8629,0).....	105
Tabela 41– Distribuição granulométrica das areias(porcentagem retida em massa) sem considerar fração abaixo peneira ABNT 0,075 mm.....	106
Tabela 42– Número de grãos para cada tipo de areia.....	107
Tabela 43– Distribuição percentual do número de grãos por granulometria para cada tipo de areia.....	108
Tabela 44 – Resultados dos ensaios nas areias.....	110
Tabela 45– Arredondamento das areias.....	111
Tabela 46– Teste Tukey da variável arredondamento das areias compostas. (Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00006, df = 27,000).....	112
Tabela 47– Resultados médios do Fator de forma das areias.....	113

Tabela 48– Teste Tukey das médias da variável fator de forma das areias compostas.(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00003, df =27,000).....	113
Tabela 49– Resultados médios da esfericidade das areias.....	114
Tabela 50– Teste Tukey das médias da variável esfericidade das areias compostas.(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00002, df = 27,000).....	114
Tabela 51– Resultados médios da área específica das areias.....	116
Tabela 52– Teste Tukey das médias da área específica esférica das areias compostas.(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = 10,892, df = 27,000).....	117
Tabela 53 – Resultados do índice de vazios das areias.....	118
Tabela 54 – Regressão múltipla para o índice de vazios das areias.(R= ,92888034 R ² = ,86281869 Adjusted R ² = ,84322135) (F(2, 14)=44,027 p<,00000 Std.Error of estimate: 2,3595).....	119
Tabela 55 – Análise de correlação dos parâmetros texturais com o índice de vazios das areias.....	122
Tabela 56 – Composição das misturas das argamassas nas proporções 1 :1 :6 (volume).....	124
Tabela 57 – Composição das misturas das argamassas nas proporções 1 : 2 : 9 (volume).....	125
Tabela 58 – Resultados dos ensaios nas argamassas com proporção em volume (1 : 1: 6).....	129
Tabela 59 – Resultados dos ensaios nas argamassas com proporção em volume (1 : 2: 9).....	130
Tabela 60 – Resultados dos ensaios nas argamassas no estado endurecido com proporção em volume (1 : 1 : 6).....	143
Tabela 61 – Resultados dos ensaios nas argamassas no estado endurecido com proporção em volume (1 : 2 : 9).....	144

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Fixação dos grãos da fração 4,75 – 2,36mm da areia de pedra sobre fita adesiva.....	73
Fotografia 2 – Grãos da areia de rio na fração 4,75 – 2,36 mm.....	74
Fotografia 3 – Imagem de grãos da fração 2,36 – 1,18 mm, com detalhe da escala padrão.....	75
Fotografia 4 – Imagem dos grãos da areia de rio na fração 2,36 – 1,18 mm.....	75
Fotografia 5 – Imagem de grãos de areia de rio, fração 0,600 -0,300, com detalhe da borda da fita adesiva.....	76
Fotografia 6 – Foto de grãos da areia de duna, fração 1,18 – 0,600 mm, com detalhe da emenda da fita adesiva.....	76
Fotografia 7 – Misturador de eixo vertical para produção das argamassas.....	84
Fotografia 8 – Detalhe da haste do misturador de eixo vertical para produção das argamassas.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais estatísticas - Brasil (DNPM).....	21
Quadro 2 – Textura superficial dos agregados.....	35
Quadro 3 – Pedregulho e areia.....	42
Quadro 4 – Pedra britada, pedrisco e pó de pedra.....	42
Quadro 5 – Coeficiente de esfericidade e fator de forma.....	46
Quadro 6 – Propriedades dos grãos das areias.....	47
Quadro 7 – Características granulométricas das frações das areias abaixo # 0,075 mm através de granulômetro a laser.....	54
Quadro 8 – Aumento e resolução das imagens digitalizadas na etapa de aquisição.....	77
Quadro 9 – Número de grãos avaliados para cada fração.....	78
Quadro 10 – Identificação das argamassas.....	82
Quadro 11 – Identificação das argamassas com proporção em volume 1 : 2 : 9...83	83
Quadro 12 – Métodos de ensaios no estado fresco.....	86
Quadro 13 – Ensaios no estado endurecido.....	88

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	37
Equação 2.....	41
Equação 3.....	41
Equação 4.....	43
Equação 5.....	43
Equação 6.....	44
Equação 7.....	45
Equação 8.....	45
Equação 9.....	49
Equação 10.....	49
Equação 11.....	49
Equação 12.....	56
Equação 13.....	72
Equação 14.....	79
Equação 15.....	126
Equação 16.....	126

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 JUSTIFICATIVA.....	22
1.2 MOTIVAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA.....	24
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo geral.....	24
1.3.2 Objetivos específicos.....	24
1.4 LIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	25
1.5 ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO DA TESE.....	25
2 AREIAS PARA ARGAMASSAS.....	26
2.1 ORIGEM DAS AREIAS.....	26
2.2 PARÂMETROS TEXTURAIS DAS AREIAS.....	30
2.2.1 Composição granulométrica.....	30
2.2.2 Textura superficial das areias.....	34
2.2.3 Arredondamento e esfericidade.....	39
2.3 ÁREA ESPECÍFICA DAS AREIAS.....	48
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.1 AREIAS.....	51
3.1.1 Análise Mineralógica e Morfoscopia.....	59
3.1.2 Massa específica.....	66
3.1.3 Massa unitária.....	70
3.1.4 Análise de imagens.....	72
3.2 AGLOMERANTES.....	79
3.3 PROPORCIONAMENTO DAS ARGAMASSAS.....	81
3.4 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	84
3.5 MÉTODOS DE ENSAIOS.....	86
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	89
4.1 CARACTERÍSTICAS DAS FRAÇÕES DAS AREIAS.....	89
4.1.1 Arredondamento, fator de forma e esfericidade.....	92
4.1.2 Rugosidade superficial.....	101
4.1.3 Área específica.....	102

4.2 CARACTERÍSTICAS DAS AREIAS.....	106
4.2.1 Arredondamento, fator de forma e esfericidade das areias.....	111
4.2.2 Rugosidade superficial das areias.....	115
4.2.3 Área específica das areias.....	116
4.2.4 Volume de vazios das areias.....	118
4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	123
4.3.1 Massa específica, retenção de água e de consistência.....	131
4.3.2 Exsudação de água.....	134
4.3.3 Retração plástica.....	136
4.3.4 Área específica.....	140
4.4 RESULTADOS ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	142
4.4.1 Índices físicos.....	145
4.4.2 Absorção de água por capilaridade.....	146
4.4.3 Resistências mecânicas das argamassas.....	150
5 CONCLUSÕES.....	156
5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	158
REFERÊNCIAS.....	159
ANEXO A - RESULTADOS DE ENSAIOS NAS FRAÇÕES DAS AREIAS.....	169
ANEXO B - RESULTADOS DE ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	201
ANEXO C - RESULTADOS DE ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	211

1 INTRODUÇÃO

O sumário mineral 2002 do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM), que reúne um conjunto de informações e dados estatísticos do comportamento de substâncias minerais selecionadas, incorporando mais de 90% do valor da produção mineral do Brasil, descreve que, em 2001, foram produzidos 399,0 milhões de toneladas de agregados para a construção civil, representando um crescimento de 4,6% em relação a 2000 (Quadro 1). Deste total, 162,8 milhões de toneladas são representados por pedras britadas, e 236,1 milhões de toneladas por areia, sendo que 50% da produção de areia se destinam à fabricação de concreto e pré-fabricados, e os 50% restantes para argamassas em geral. Este se constitui num produto de fundamental importância no mercado de agregados para a construção civil, pois o setor movimenta cerca de R\$ 2,7 bilhões por ano e os agregados são os minerais mais consumidos do mundo, depois da água.

O Estado de São Paulo responde por 33,2% da produção nacional, e outros grandes estados produtores são: Minas Gerais (11,1%), Paraná (9,7%), Rio de Janeiro (8,6%), Rio Grande do Sul (6,7%) e Santa Catarina (3,8%).

Quadro 1 - Principais estatísticas - Brasil (DNPM - 2002)

Discriminação		1999 ^(r)	2000 ^(r)	2001 ^(p)
Areia	Produção 10 ⁶ t	203,6	225,7	236,1
	Consumo t/per capita	1,2	1,3	1,4
	Preço ⁽¹⁾ US\$/t	2,07	2,07	1,70
Pedra britada	Produção 10 ⁶ t	140,4	155,7	162,8
	Consumo t/per capita	0,8	0,9	0,9
	Preço ⁽¹⁾ US\$/t	3,62	4,02	3,15

(1) Preço médio FOB - mina para o mercado da Região Metropolitana de São Paulo.

(r) revisado

(p) previsto

Apesar de o Brasil ter reservas de qualidade para a produção de agregados para a construção civil, em algumas regiões, a crescente urbanização e restrições ambientais têm limitado os locais de extração dos agregados. Esta é muitas vezes feita muito distante dos centros consumidores, podendo superar 100 km de distância. Isto aumenta o custo do material, visto que o transporte responde por cerca de 2/3 do preço final do produto (Agregados(I), 2000).

John (2000) comenta que, na construção civil, as próximas décadas serão dedicadas à questão ambiental, entendida sob a denominação de desenvolvimento sustentável, em que o consumo de matérias-primas não renováveis cresce na medida do crescimento da economia e da população, o que vem acarretando a exaustão de bens minerais, especialmente junto aos centros urbanos. Então, o que se procura é gastar a menor quantidade de insumos não renováveis, e no caso das argamassas, não só consumir adequadamente as areias, mas também os aglomerantes empregados na sua produção.

Este cenário alertou o governo federal, que editou a Portaria nº 249, de 28/10/2004, publicada no Diário Oficial de 29/11, criando, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, uma Comissão para promover estudos destinados à elaboração do Plano Nacional de Aproveitamento de Agregados para a Construção Civil. Este deve promover ações que desobstruam o processo produtivo da área de agregados, de forma a garantir o suprimento adequado de insumos minerais vitais ao crescimento econômico, num cenário de incremento de demanda para atendimento dos programas governamentais de habitação, saneamento e obras públicas, que ameaçam de colapso a oferta e as alternativas para a gestão sustentável da atividade.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a elevação no custo de produção das areias naturais, isto é, areias de leito de rio, eólica, cava ou areia de barranco, tem aumentado a utilização de areias designadas artificiais, cujas características de forma e textura diferem sensivelmente das areias naturais, principalmente a areia de britagem de rochas.

O panorama, portanto, é de uma grande variabilidade das areias para argamassas, tanto no que se refere à sua distribuição granulométrica quanto nas características geométricas de caráter textural dos grãos, tais como a esfericidade,

arredondamento e rugosidade. A questão, então, é que se deve obter uma argamassa trabalhável, ao mínimo custo possível, mas com os materiais que estejam disponíveis e que, muitas vezes, não são os que apresentam as melhores características de forma e textura superficial. Assim, o proporcionamento de cimento portland, cal hidratada e areia para produção de argamassas de revestimento, considerando a utilização de areias com formas e texturas superficiais diferentes, necessita de estudos que auxiliem no entendimento da influência das características dos materiais na produção das argamassas.

Para concreto de cimento portland, a granulometria e a forma dos grãos são características relevantes nas suas propriedades, dentre elas, a economia dos materiais, já que agregados de textura mais ásperas, angulosos e alongados irão consumir maior quantidade de pasta quando comparados com partículas lisas e arredondadas (Metha e Monteiro, 1994). Nas argamassas, provavelmente, também haverá relevância e com mais propriedade, pois a proporção de agregado em argamassas é maior do que nos concretos. Quanto à forma dos grãos, a norma brasileira NBR 7211/83 – “Agregados para concreto”, estabelece que o índice de forma do grão deve ser inferior ou no máximo igual a 3, sendo que este índice, determinado conforme a NBR 7809/83, é a relação entre a maior e a menor dimensão do grão e somente se aplica para os agregados graúdos. Existe também a NBR 7389/92, que qualifica, mas não quantifica, a forma e a textura de agregados para concreto. Porém, quanto às areias para as argamassas, não há referência normativa no Brasil quanto aos aspectos texturais citados.

Existem várias pesquisas usadas nos trabalhos de sedimentologia que caracterizam os grãos quanto aos seus parâmetros texturais, por exemplo, Wentworth (1926), Krumbein (1932), Beal e Shepard (1956), Catacosinos (1965), Folk (1966), Balazs e Klein (1972), Tucker e Vacher (1980), Winkelmoen (1982), Drolon et al. (1999), MacLeod (2002), mas em sua grande maioria foram desenvolvidas com o objetivo de auxiliar na quantificação do grau de evolução das areias em bases sedimentares.

Na construção civil, vários autores têm avaliado a influência de parâmetros texturais em misturas asfálticas, por exemplo, Kandhal et al. (1991), Mogawer e Stuart (1992), Parkin e Calkin (1995), Fernlund (1998), Khedaywi e Tons (1998). A avaliação dos parâmetros texturais com ênfase em agregados para concreto tem

sido também objeto de estudo de diversos pesquisadores, podendo-se citar: Singh (1957), Díaz (1990), Mora et al. (1999), Kwan et al. (1999), Carr et al. (1992), Persson (1998), Brezezicki e Kasperkiewicz (1999), Rao e Prasad (2002). Contudo, são raros os trabalhos que avaliam a influência dos parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento.

1.2 MOTIVAÇÃO DO TEMA DA PESQUISA

No Brasil, vários pesquisadores têm-se dedicado ao estudo da composição granulométrica das areias para argamassas, podendo-se mencionar os trabalhos de Tristão (1995) e Carneiro (1999). No entanto, estudos que se referem aos aspectos texturais citados anteriormente são muito escassos, tendo como trabalho pioneiro na construção civil o de Araújo (2001), que estudou os parâmetros texturais de areias usadas em argamassas para revestimento. Esta lacuna no conhecimento científico, por conseguinte, foi o que motivou o estudo de avaliação da influência destes parâmetros na produção de argamassas de revestimento para a construção civil, evidenciando assim o ineditismo e a importância do trabalho para a construção civil.

1.3 OBJETIVOS

A pesquisa visa desenvolver uma metodologia para avaliar a influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. Para tanto, elenca-se como objetivo geral e específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Estudar a influência dos diferentes parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de cimento portland e cal para revestimento de paredes e tetos.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Quantificar a variação dos parâmetros texturais das areias;
- b) Estabelecer metodologia de determinação dos parâmetros texturais das areias para argamassas através da análise de imagens;
- c) Relacionar os parâmetros texturais com as propriedades das areias;

1.4 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa se limitou a estudar areias classificadas como normais, com massas específicas variando de 2000 a 3000 kg/dm³. Para tanto, utilizou-se nos experimentos, areia proveniente do leito de rio, areia eólica e areia resultante do britamento de rocha granítica. Não são objeto de estudo as adições e aditivos para argamassas de revestimento.

1.5 ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO DA TESE

O desenvolvimento da tese está estruturado em seis capítulos, que detalham a seqüência da pesquisa realizada, sendo que, neste capítulo, apresenta-se a justificativa, a relevância do tema e os objetivos da pesquisa.

No capítulo 2, são exibidas e analisadas as bibliografias que abordam a origem das areias com suas propriedades, sendo enfocados sobretudo os aspectos relativos aos parâmetros texturais dos grãos. Apresentam-se também os efeitos dos diferentes tipos de areia na produção de argamassas.

No capítulo 3 são descritos os materiais e os métodos utilizados na sua caracterização e, principalmente, na determinação dos parâmetros texturais dos grãos das areias. Também são descritos neste capítulo os métodos de ensaio nas argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Prosseguindo, no capítulo 4 são mostrados os resultados que contemplam os parâmetros texturais, propriedades físicas das areias utilizadas e as propriedades das argamassas. São discutidos os resultados obtidos e suas correlações e, ao final, faz-se uma compilação das análises realizadas.

No capítulo 5 são destacadas as conclusões obtidas a partir dos resultados experimentais, quanto à influência dos parâmetros texturais dos grãos nas propriedades das argamassas para revestimento.

Finalizando, no capítulo 6, são apresentadas considerações finais, salientando-se os aspectos relacionados às areias para argamassas e as sugestões para futuras pesquisas em argamassas para revestimento. Nos anexos 1 a 4 são enfatizados os resultados individuais, gráficos e tabelas, dispostos ao final deste volume.

2 AREIAS PARA ARGAMASSAS

A revisão bibliográfica foi estruturada baseada na necessidade de caracterizar as diferentes areias usadas na construção civil e, mais precisamente, para a produção de argamassas de revestimento. Esta caracterização levou a referenciar os diversos aspectos texturais das areias com base nas suas origens e nos procedimentos de qualificação e quantificação destes parâmetros. Também foi feita revisão bibliográfica referente à caracterização das argamassas e as metodologias de dosagem das argamassas para revestimento.

2.1 ORIGEM DAS AREIAS

A grande variabilidade das areias se deve às suas diferentes origens, tanto dos minerais formadores quanto dos fenômenos de intemperismo e desintegração, seguida de erosão dos materiais. Para facilitar a análise das propriedades das areias em relação às suas origens, estas são inicialmente classificadas.

As principais classificações dos agregados são quanto à dimensão dos grãos, massa específica e produção. Quanto às dimensões são classificados em grãos e miúdos, sendo que a NBR 7211/83 – Agregado para concreto - define agregado miúdo como “areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm”.

Em função da massa específica (ME), as areias podem ser classificadas como:

- Leves - $ME \leq 2000 \text{ kg/m}^3$;
- Normais – $2000 < ME \leq 3000 \text{ kg/m}^3$;
- Pesadas – $ME > 3000 \text{ kg/m}^3$.

No que tange à produção, as areias podem ser naturais ou artificiais, sendo mais utilizadas as areias naturais provenientes dos leitos de rios, areia de cava ou de barranco e as areias eólicas. Dentre as areias naturais, a areia de leito de rio é a mais utilizada no país (Sumário Mineral 2003), enquanto que a areia artificial mais utilizada é a areia de britagem.

Como os aspectos de formação geológica e os minerais presentes nas rochas são essenciais no entendimento das propriedades das areias, deve-se discorrer sobre rochas sedimentares não consolidadas, pois as areias naturais são consideradas como sedimentos não consolidados e podem provir de diversos depósitos sedimentares. Neste tópico, não se pretende aprofundar os estudos no ramo da sedimentologia, mas sim utilizar os conceitos de formação dos sedimentos na análise dos diversos tipos de areia utilizados na produção de argamassas.

Na sedimentologia, são estudados os processos responsáveis pela formação de rochas sedimentares incluindo os fenômenos de intemperismo, desintegração, erosão, transporte e sedimentação. Os depósitos sedimentares possuem certas características fundamentais, sendo que as inerentes aos grãos isolados podem ser chamadas de propriedades texturais. Estas propriedades são os tamanhos, que são expressos em termos de distribuição granulométrica, arredondamento e esfericidade (forma); textura superficial e composição mineralógica. Propriedades estas que estão relacionadas a fatores físicos e químicos dos ambientes de deposição e que serão apresentadas nos próximos itens.

Quanto ao tamanho, a sua variação está associada especialmente a fatores físicos, uma vez que, segundo Suguio (1973), a distribuição granulométrica dos grãos está associada ao meio de transporte e à sua velocidade. Também a forma dos grãos está relacionada em parte ao meio de transporte, à distância e ao rigor do transporte. Já a textura superficial pode advir de mudanças devidas à dissolução ou método de transporte, enquanto que a composição mineralógica está relacionada com as rochas fonte. Então não se deve generalizar a classificação das areias de rio em um só tamanho, arredondamento, esfericidade e textura superficial.

Os sedimentos podem ser classificados pelo estágio de maturidade, sendo que Suguio (1973) define maturidade como um registro combinado do tempo através do qual os processos genealógicos foram efetivos e da intensidade de ação desses processos. A evolução se dá a partir de um sedimento mal selecionado com grãos angulosos e que dará origem a uma areia completamente arredondada e selecionada.

Os grãos de areia podem ser arredondados tanto pela ação do vento quanto pela água, devido à abrasão durante o transporte. Suguio (1973) comenta que abaixo de um determinado diâmetro não se dá o arredondamento dos grãos pelo

desgaste mecânico e que este diâmetro é dependente do meio. Amaral (1955) apud Suguio (1973), encontrou o tamanho de 0,125 mm para os sedimentos da fossa do Marajó, e para os sedimentos eólicos da formação Botucatu, bacia do Paraná, este diâmetro foi de 0,053mm.

Beal e Shepard (1956) descrevem que vários autores mencionam o maior arredondamento das areias de duna em relação às areias de ambientes fluviais e que isto se deve à abrasão durante o transporte. Em ambientes marinhos, o vai e vem contínuo das águas facilita o arredondamento dos grãos.

Uma observação muito importante é que as diversas frações das areias não apresentam necessariamente a mesma forma. Persson (1998), ao analisar cascalhos e pedra britada de diferentes regiões da Suécia, observou que os grãos finos são muito mais alongados e com forma de escama do que os grãos grandes para uma mesma amostra e que, geralmente, agregados maiores do que 0,25 mm de lado são substancialmente mais redondos se for pedregulho natural e são mais quadrados se for pedra britada.

Quanto à constituição mineralógica das areias, de acordo com Suguio (1973), nos sedimentos de canais de rios e cones aluviais, predominam principalmente pouca ou nenhuma argila, com proporção de silte, areia e cascalho pobremente selecionado e com grãos angulares, enquanto que, em ambientes de praia e bancos de areia e em dunas eólicas, as areias não contêm argila e os grãos são bem selecionados, variando de subangulares a bem arredondados.

Para os agregados britados, parece ser natural a observação de que os grãos são muito angulosos, isto é, apresentam cantos mais agudos e com grandes e pequenas reentrâncias. Briggs e Evertsson (1998), ao avaliarem a influência do tipo de britador na forma do grão, comentam que o modelo de carga no carregamento influencia não somente a redução do tamanho da rocha, mas também a forma do grão, sendo que um britador de cone pode produzir grãos com forma inadequada para a construção civil. Ainda quanto à influência do equipamento de britagem do agregado, Mehta e Monteiro (1994) ressaltam que, com rochas sedimentares laminadas, britadores tipo mandíbula ou de impacto tendem a produzir grãos lamelares. Brzezicki e Kasperkiewicz (1999) também assinalam que as propriedades dos grãos de agregados dependem da petrografia da rocha, mas também do tipo e

características do britador. Percebe-se, portanto, que, para os agregados britados, não se pode generalizar a sua forma.

Na Revista *Téchne* número 74 (Agregado, 2003), em uma matéria intitulada “Areia pode alterar as propriedades do concreto”, são apresentadas quatro tipologias de areias com as seguintes características físicas:

- Areia eólica – granulometria médio-fina com grãos arredondados e lisos;
- Areia de leito de rio – granulometria variável com grãos irregulares com textura áspera e grande diversidade mineralógica;
- Areia de cava ou areia de barranco – grande diversidade mineralógica e com muita argila;
- Areia de britagem – sem comentários sobre os parâmetros texturais dos grãos.

As areias na construção civil têm seu maior consumo na produção de misturas asfálticas, concretos e argamassas. Conforme Neville (1982), na Inglaterra, o uso da areia de praia ou de estuários representa mais de 10% do agregado para concreto. Nas areias de praia, especial atenção deve ser dada quanto ao teor de cloretos e ao conteúdo de conchas. É recomendado um limite de 0,01% no teor de cloretos e de no máximo 30% de conchas para agregados finos (NBRI, 1975). Outro fator que deve ser considerado é que estas areias contêm poucos grãos abaixo de 300 μm , o que afeta a trabalhabilidade das argamassas.

Para esta diversidade de areias, com variações acentuadas no tamanho, forma, textura superficial, composição mineralógica e forma de produção, faz-se necessária a quantificação de seus parâmetros texturais para, então, ajuizar uma classificação das areias para argamassas de revestimento que não seja somente baseada na distribuição granulométrica ou simplesmente quanto à origem, areia de rio ou jazida, por exemplo. Reforçando esta opinião, Kandhal et al. (1991) enfatizam a necessidade de quantificar a forma e a textura de agregado miúdo, pois a forma da partícula de agregado miúdo é aparentemente mais importante do que de agregado graúdo na melhoria da estabilidade de misturas asfálticas e também na resistência à deformação permanente. Geralmente, as areias naturais tendem a ser arredondadas, ao passo que as areias industrializadas tendem a ser angulosas, mas

que, algumas areias industrializadas ou britadas podem ser um pouco arredondadas ao invés de completamente angulares.

Percebe-se, desta revisão bibliográfica, que as variações dos parâmetros texturais das areias naturais são decorrentes das suas diversas origens, enquanto que as areias artificiais dependem também dos equipamentos utilizados na sua produção, e que é fundamental caracterizar as areias quanto aos seus parâmetros texturais.

2.2 PARÂMETROS TEXTURAIS DAS AREIAS

Os parâmetros texturais dos grãos isolados das areias são o tamanho, a forma representada pelo arredondamento e esfericidade, a textura superficial e a composição mineralógica. Os tamanhos são normalmente expressos em termos de composição granulométrica obtida em ensaio de peneiramento, sendo que, na construção civil brasileira, utilizam-se as peneiras de malha quadrada especificadas na NBR 5734/88. Para expressar o arredondamento e a esfericidade dos grãos, existem vários métodos, uns por comparação visual com imagens de padrões definidos e outros métodos que quantificam estes coeficientes.

Deve-se destacar a necessidade de uniformizar a terminologia sobre os parâmetros texturais das areias para facilitar a descrição dos mesmos, pois, como será visto adiante, encontram-se na literatura diferentes definições para um mesmo termo. Para facilitar a descrição dos parâmetros, estes foram ordenados em sub-ítem, que abrangem a composição granulométrica, textura superficial dos grãos, arredondamento e esfericidade.

2.2.1 Composição granulométrica

No método de ensaio NBR 7217/87, que determina a composição granulométrica de agregados para concreto para classificar as areias, as peneiras usadas são: 4,75 mm (Nº 4), 2,36 mm (Nº 8), 1,18 mm (Nº 16), 600 µm (Nº 30), 300 µm (Nº 50), 150 µm (Nº 100). Nesta série de peneiras, a relação entre a abertura de malhas é de 2, mas outras séries também são usadas na determinação da composição granulométrica. Carneiro (1999), avaliando os modelos para a determinação do perfil da curva de distribuição granulométrica de areia para argamassa, recomenda que a série ideal de peneiras é a série normal especificada

pela NBR 5734/88, iniciando com a peneira ABNT 2,4 mm e finalizando com a peneira ABNT 0,075 mm, com razão entre duas aberturas sucessivas aproximadamente iguais a 1,19: 1. O autor comenta que a utilização da série de peneiras recomendadas na NBR 7217/87 dá origem a um perfil de curva granulométrica pouco detalhada. A utilização desta série normal, para estudos científicos e para a caracterização dos materiais, amplia o conhecimento das variações dos tamanhos de grãos nas diversas frações que compõem as areias. Evidentemente que a separação industrial dos grãos das areias com a utilização desta série torna-se muito trabalhosa, já que utiliza 21 peneiras para o ensaio de peneiramento.

A utilização da peneira ABNT 0,075 mm na pesquisa deve-se primeiramente ao fato de que a NBR 7211/89 considera como areia também os grãos que ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm. Além disto, vários pesquisadores também a utilizaram, tais como Kandhal et al. (1991), Mogawer e Stuart (1992) e Carr et al. (1992). Selmo (1989) também sugere analisar a influência do material retido na peneira ABNT 0,075 mm, sobretudo na trabalhabilidade das argamassas.

A importância da distribuição granulométrica das areias, tanto para concreto quanto para argamassas, é demonstrada por vários autores, sendo que Carneiro (1999) salienta que os trabalhos estão sempre avaliando a variação da compacidade da mistura ou, em outras palavras, do índice de vazios da areia, com a distribuição granulométrica.

O estudo da compacidade de materiais granulares é uma preocupação em diversas áreas do conhecimento. Citam-se a seguir alguns trabalhos que avaliam a compacidade de misturas com materiais granulares, sendo que Stovall et al. (1986) definem densidade de empacotamento como a fração volumétrica do sistema ocupado pelos sólidos e que pode ser também expressa como 1 menos a porosidade. Os autores consideram que o empacotamento de sistemas multiparticulados é muito importante tanto na ciência quanto para a indústria e dizem que muita pesquisa tem sido realizada em misturas binárias de grãos esféricos, e que a compreensão e teoria do empacotamento de grãos de diversos tamanhos não existem.

Yu e Standish (1993) analisaram o empacotamento de mistura binária de grãos esféricos com grãos cilíndricos de diversos diâmetros para avaliar a influência

da forma e tamanho dos grãos. Os autores comentam que é muito difícil, se não impossível, o desenvolvimento de um método para definir e determinar o grau de empacotamento de grãos não esféricos e consideram razoável que o comportamento do empacotamento de grãos é somente dependente da forma e tamanho. Avaliaram que o aumento do diâmetro da esfera inicialmente aumenta a porosidade até um máximo e depois há um decréscimo da porosidade com o aumento do diâmetro da esfera. Os autores sinalizam que, para grãos esféricos, a porosidade de mistura de grãos de diversos tamanhos é menor do que para mistura de grãos de um só tamanho. Com relação à forma, os autores afirmam que geralmente desvios na forma esférica dos grãos tendem a aumentar a porosidade de misturas de um só tamanho, por causa dos cantos dos grãos ou pelo aumento do atrito entre os grãos.

A determinação da composição granulométrica por peneiramento comumente apresenta os resultados como uma porcentagem em massa dos grãos retidos ou passando na peneira, sendo que Araújo (2001) enfatiza que é comum referir-se ao tamanho dos grãos através de diâmetros, mas que esta representação é relativa, visto que os grãos não são esféricos. Os materiais naturais raramente são sólidos regulares, e por isto, Wadell citado por Suguio (1973) sugere que a granulometria de uma partícula de forma irregular é mais bem expressa pelo valor de seu volume, pois o volume é independente da forma.

Scarlett (2002) descreve que é evidente a independência do volume com a forma, uma vez que, se uma partícula quebra em vários fragmentos, a soma de seus diâmetros não é igual ao diâmetro da partícula original, mas as somas dos volumes dos fragmentos são iguais ao volume original. O referido autor conclui que se pode considerar o tamanho da partícula como sendo seu volume e não suas dimensões lineares.

Quando se trabalha com grãos não esféricos de diversos tamanhos, como no caso de concretos, misturas asfálticas e argamassas, a caracterização dos agregados somente com a distribuição granulométrica não é suficiente, pois se pode ter agregados de mesma granulometria, mas que apresentam diferentes compacidades. Nesta mesma linha de pensamento, Fernlund (1998) comenta que o peneiramento, usado na classificação do tamanho de agregado, é um método grosseiro e que não dá a exata medida das dimensões dos grãos e apresenta um

exemplo (Figura 1), com grãos de várias formas que ficam retidos entre as peneiras 38 – 32 mm.

Ainda analisando o método clássico para a medida da distribuição dos tamanhos de grãos por peneiramento, Persson (1998) também escreve que este método não é muito correto para os grãos finos devido à dificuldade de passagem pela malha da peneira e da quantidade dos mesmos em relação à área da peneira. A autora ainda menciona que a análise por peneiramento somente apresenta uma medida aproximada da largura dos grãos e que os resultados não são suficientes para uma boa caracterização.

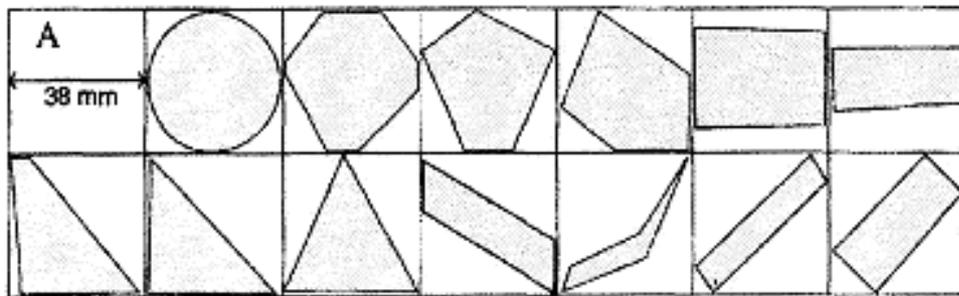


Figura 1 – Projeções de grãos com formas variadas na fração 38 – 32 mm.

Kwan et al. (1999) salientam que, numa análise granulométrica por peneiramento, grãos com dimensão maior do que as aberturas da malha da peneira podem passar por ela, principalmente quando a forma da partícula for alongada ou ainda lamelar, corroborando os autores citados anteriormente.

Pesquisas experimentais aplicadas em concretos e misturas asfálticas evidenciam a influência da forma dos grãos nos resultados, sendo que Abdel-Jawad e Abdullah (2002) afirmam que é desejável uma graduação de agregado que produza uma máxima compacidade e um máximo intertravamento dos grãos para misturas asfálticas ou para concreto. Díaz (1990), ao avaliar concreto produzido com agregados considerados inadequados quanto à forma, de diversas regiões de Cuba, observou que o fator de forma exercia maior influência do que a granulometria, tanto no consumo de cimento quanto na resistência do concreto.

Glencross-Grant e Walker (2003) descrevem que é de reconhecimento geral que somente a classificação granulométrica não é suficiente para classificar as areias para argamassa e que a forma, a área específica e as características dos

finos também são muito importantes. Mas os autores não apresentam nenhuma relação das propriedades das argamassas com relação à forma e textura superficial das areias.

Desta revisão bibliográfica depreende-se que a composição granulométrica, através de peneiramento, pode não representar exatamente as medidas dos grãos e que é necessária a incorporação de medidas da forma dos grãos para auxílio na interpretação da distribuição granulométrica das areias. Além disso, fica evidente a influência da forma dos grãos no índice de vazios das areias e a necessidade de uma correlação com as propriedades das argamassas.

2.2.2 Textura superficial das areias

A textura superficial está relacionada com a superfície do grão, sendo que, na avaliação de agregados para concreto, a classificação dos grãos quanto à textura superficial é definida na NBR 7389/92 como polidos, foscos ou rugosos, baseada em avaliação visual.

A geologia, na classificação quanto à textura superficial, indica que o grão pode apresentar superfícies polidas, foscas ou corroídas. Mas, segundo Suguio (1973), alguns autores descrevem a textura superficial em função do diâmetro dos fragmentos, e complementa que a grande dificuldade é a quantificação dessa característica e que os conhecimentos são muito incompletos e inexatos.

Neville (1982) apresenta as características e exemplos de agregados relacionados com a textura superficial, descritos no Quadro 2 a seguir. Salienta-se que esta classificação não se baseia na quantificação deste parâmetro, mas somente numa avaliação visual dos grãos.

Quadro 2 – Textura superficial dos agregados (Neville, 1982).

Análise visual	Características	Exemplos
Vítrea	Fratura conchoidal.	Sílex negro, escória vitrificada.
Lisa	Erodida pela água, ou lisa devido à fratura de rocha laminar ou finamente granulada.	Seixos, opalas, mármore, alguns reolitos.
Granular	Fraturas mostrando grãos arredondados mais ou menos uniformes.	Arenito, oolito.
Áspera	Fratura áspera de minerais finos ou medianamente granulados com constituintes cristalinos de difícil percepção visual.	Basalto, felsito, pórfiro, calcário.
Cristalina	Com os constituintes cristalinos facilmente visíveis	Granito, gabro, gnaisse.
Porosa	Com os poros e cavidades visíveis	Tijolo, pedra-pomes, espuma de escória, clínquer, argila expandida.

A seguir são mostrados alguns métodos para quantificação desta propriedade, sendo que um método utilizado para caracterizar agregados para uso em pavimentos asfálticos é o método da American Society for Testing and Materials ASTM – D 3398 – 97. Este método fornece um índice relacionado com as características de forma e textura do agregado, por meio da determinação da massa unitária compactada do agregado, tratando-se, portanto, de uma medida indireta da rugosidade, pois o método avalia tanto a textura como a forma do grão em conjunto.

Para concreto a American Society for Testing and Materials (ASTM) também apresenta um método para a determinação do volume de vazios não compactados para agregado miúdo. Este método ASTM C 1252 – 93 traz uma indicação da influência da angulosidade, esfericidade e textura superficial dos agregados em comparação com outros agregados de mesma composição granulométrica. Também este é um método que avalia os parâmetros texturais em conjunto.

Devido à grande dificuldade de quantificar a rugosidade superficial dos agregados, tem sido utilizada a geometria fractal, para caracterizar perfis de

fragmentos irregulares na natureza e proporcionar meios de quantificar perfis randômicos e aparentemente caóticos. O conceito clássico de dimensão é uma operação na qual a dimensão dada a um sistema não é um conceito absoluto, mas depende das operações para cada situação. Kaye (1986) apresenta um exemplo (Figura 2) em que a determinação do perímetro (p) de um polígono depende da resolução (λ) adotada na medida e mostra que a dimensão fractal (δ) do contorno do polígono é dada pela relação $\delta = 1 + |m|$, na qual m é declividade da reta obtida num gráfico do perímetro versus resolução em escalas logarítmicas. O autor ressalta que a ciência de grãos finos busca uma previsão do comportamento mediante o conhecimento da forma, tamanho e textura dos grãos constituintes, e que a estrutura e textura das irregularidades dos grãos finos podem ser descritas pelas dimensões fractais.

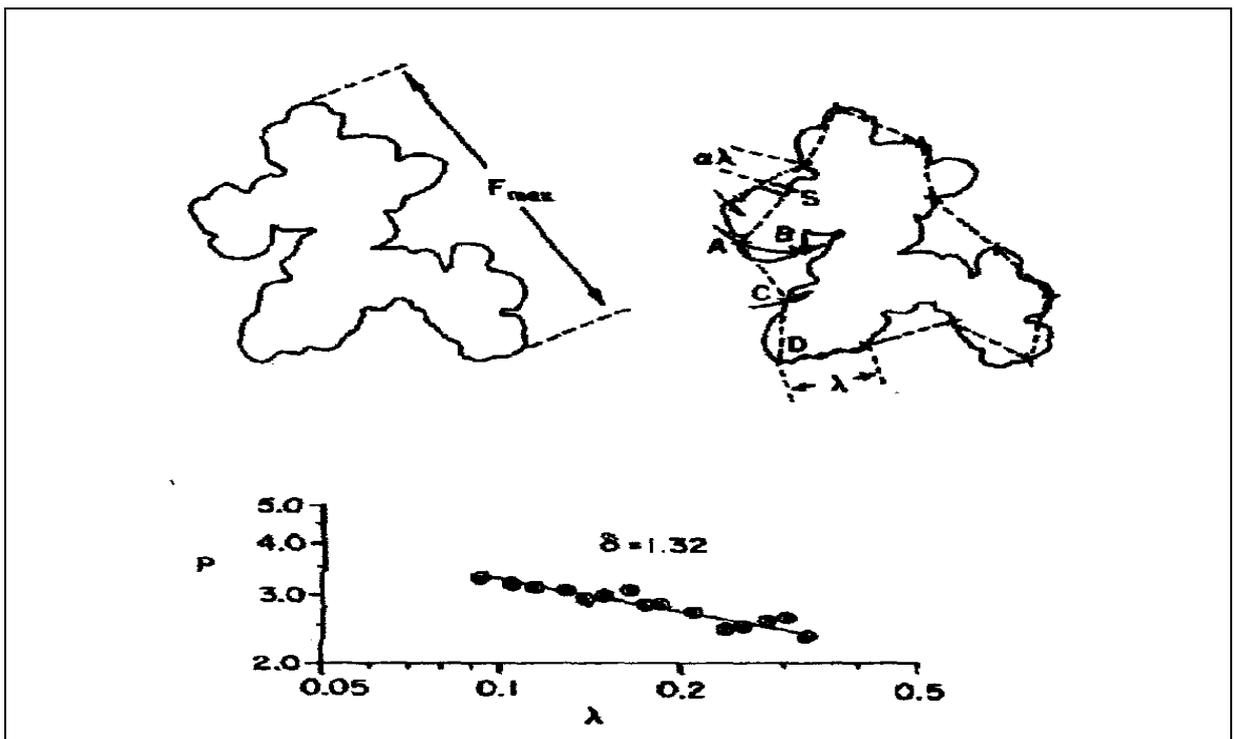


Figura 2 – Variação do perímetro (p) com a escala de medida (λ).

Para Hyslip e Vallejo (1997), a característica de rugosidade tem sido tipicamente avaliada por comparação visual com modelos padronizados. Informam também que outros métodos quantitativos têm sido usados através da análise de Fourier. De acordo com os autores, a geometria fractal pode ser aplicada na avaliação da rugosidade de materiais granulares, e apresentam um método em que

usam a dimensão fractal de área e perímetro, identificada como dimensão fractal de rugosidade.

Os autores acima citados apresentam dois procedimentos gerais, sendo um utilizando processamento manual e outro com um programa de análise de imagem. Este último tem grande potencial de uso para quantificar a rugosidade, sendo essenciais imagens com altas resoluções. O procedimento consta basicamente da determinação da área e perímetro da projeção da partícula e posterior traçado de um gráfico em escala logarítmica onde se determina o coeficiente angular da reta ajustada aos pontos. A dimensão fractal da rugosidade (D_R) é então calculada pela Equação 1. Concluem os autores que, com os resultados obtidos, encontraram uma relação direta desta dimensão fractal com a rugosidade e que, quanto mais rugoso for o perfil do grão, maior o valor da dimensão.

$$D_R = \frac{2}{m} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: m = coeficiente angular da reta ajustada

A influência da rugosidade do agregado em misturas asfálticas analisada por Khedaywi e Tons (1998) mostrou que as mais altas resistências foram obtidas com diferentes proporções entre os agregados graúdos e miúdos em função da rugosidade do agregado graúdo. Para agregado graúdo calcário, a maior resistência estava associada com a mistura de agregado fino entre as peneiras de nº 60 (250 μm) e 80 (180 μm) e, para cascalho redondo como agregado graúdo, a resistência estava associada com a mistura de agregado fino entre as peneiras nº 200 (75 μm) e 270 (53 μm). Estes autores, ao analisarem a quantidade de asfalto necessária para preencher as rugosidades do agregado, utilizando-se de dois tipos de agregados graúdos, um calcário e outro cascalho redondo, sempre obtiveram maior quantidade de asfalto para preencher os vazios do agregado calcário, evidenciando a influência da rugosidade dos grãos no consumo de asfalto na mistura.

Ainda quanto à influência da rugosidade dos agregados em misturas asfálticas, Mogawer e Stuart (1992) relatam que as pesquisas têm mostrado a vantagem do uso de agregados graúdos e miúdos com textura superficial mais rugosa para minimizar a fraca estabilidade e a formação de sulcos em pavimentos asfálticos.

Em relação aos estudos para concreto, Carr et al. (1990), caracterizando a forma do grão usando a dimensão fractal, concluem que, quanto mais angular é o agregado, maior a dimensão fractal quando comparada com grãos redondos. Carr et al. (1992) comentam que um agregado com textura superficial rugosa terá melhor desempenho na mistura com aglomerante, que resultará em uma mistura mais forte e tem, portanto, grande relevância para a resistência de concreto. Os autores relacionam a textura superficial com área específica pelo fato de um agregado com textura superficial rugosa ter maior área superficial do que um agregado similar na forma e granulometria com textura superficial mais lisa. Afirmam ainda que, quanto maior a área superficial, maior a quantidade de aglomerante a ser adicionada na mistura para dar trabalhabilidade.

Alguns autores salientam a influência da rugosidade superficial dos grãos na interface pasta/agregado, sendo que Mehta e Monteiro (1994) evidenciam que, para concreto nas primeiras idades, uma textura mais áspera parece favorecer a aderência mecânica entre a pasta de cimento e o agregado.

A influência da rugosidade superficial dos agregados também foi avaliada por Rao e Prasad (2002), principalmente quanto à interface da pasta de cimento com o agregado para concreto. A pasta próxima da interface exibe uma microestrutura mais porosa e se estende em torno de 20 a 50 μm , devido ao efeito parede produzido pela superfície do agregado, criando zonas com altas relações água-cimento. Os autores concluem que a resistência ao cisalhamento aumenta com o aumento da rugosidade do agregado. Deve-se ressaltar que os autores não quantificaram a rugosidade superficial dos agregados, tendo utilizado uma avaliação descritiva como rugoso ou polido para identificar a textura superficial do agregado.

Tasong et al. (1998), analisando a resistência de aderência na interface agregado com pasta de cimento, concluíram que somente a característica textural da superfície do agregado não é suficiente para explicar as resistências de aderência, e sugerem que as diferenças nas resistências mecânicas dos agregados, tais como estrutura interna e interações químicas, também são importantes na avaliação.

Ao estudarem concretos de alta resistência com diferentes agregados finos, Donza et al. (2002) destacam que concreto com areia britada exige maior conteúdo de aditivo superplastificante quando comparado com concreto feito com areia natural de rio, mas que apresentam maior resistência, fato este atribuído à melhoria na zona

de transição pasta-agregado miúdo. Os autores também enfatizam que areias britadas provenientes de granito aumentam a resistência do concreto quando comparadas com areias britadas provenientes de calcário e dolomita.

Extrai-se, desta revisão bibliográfica, a grande dificuldade de quantificar a textura superficial dos grãos, como também que esta propriedade interfere não só no consumo de pasta, bem como nas resistências mecânicas, principalmente nos estudos para concreto e misturas asfálticas, necessitando ainda de estudos em argamassas para melhor compreensão da influência da textura superficial dos agregados.

2.2.3 Arredondamento e esfericidade

O arredondamento e a esfericidade representam a forma do grão, sendo que ,para concreto, utiliza-se o método de ensaio NBR 7389/82 – “Apreciação petrográfica de materiais naturais”, para qualificar os agregados. Este ensaio avalia visualmente, ou com auxílio de lupa, a forma do grão com padrões gráficos, que indicam o grau de esfericidade e de arredondamento, conforme Figura 3. O grau de esfericidade serve para mostrar quanto o grão se aproxima da forma esférica, se alto ou baixo grau de esfericidade, enquanto que o arredondamento se relaciona com a perda de vértices e arestas, isto é, o grau de curvatura dos cantos.

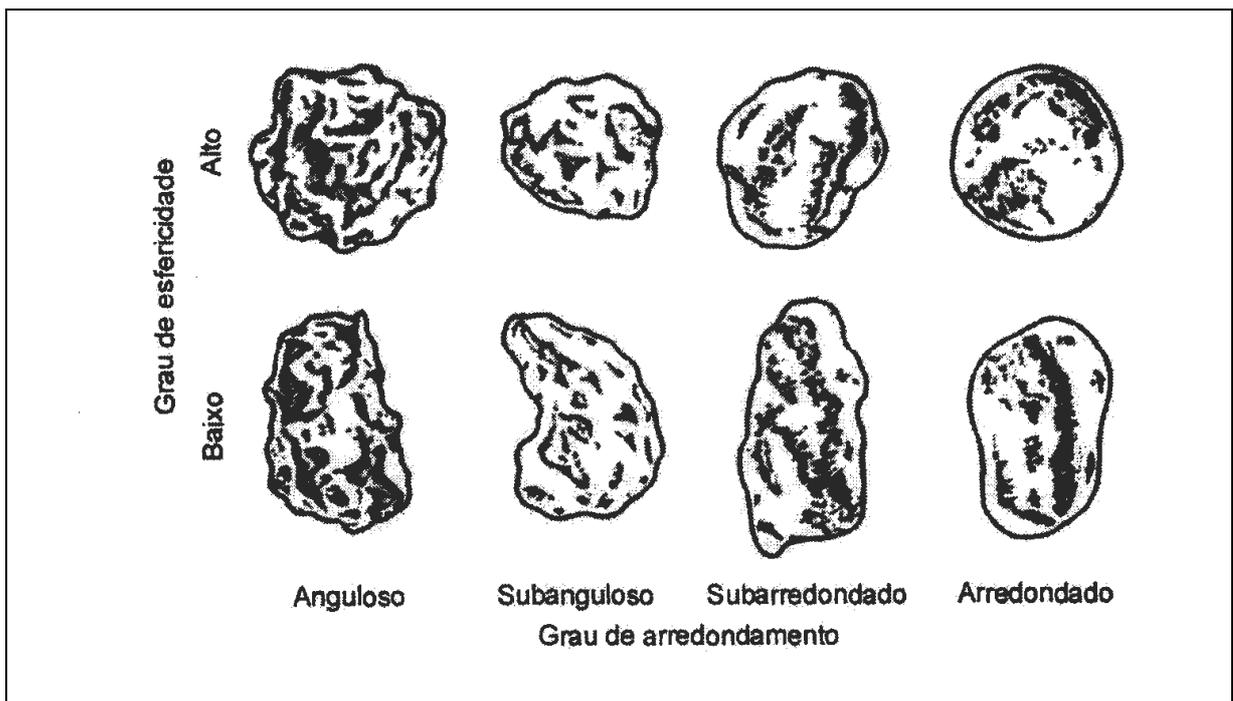


Figura 3 – Padrões gráficos dos graus de esfericidade e arredondamento (NBR 7389/92)

Em geologia, a técnica usada na análise da forma dos grãos é a morfoscopia, que, segundo Popp (1998), permite avaliar o desgaste sofrido pelos grãos no processo de transporte. Albino (1992) diz que, em conjunto com a análise granulométrica e a determinação do teor de materiais pesados, esta técnica permite uma boa caracterização dos sedimentos.

Esta técnica é praticamente a mesma adotada na NBR 7389/92, somente com maior número de classes de arredondamento, como pode ser visto na Figura 4.

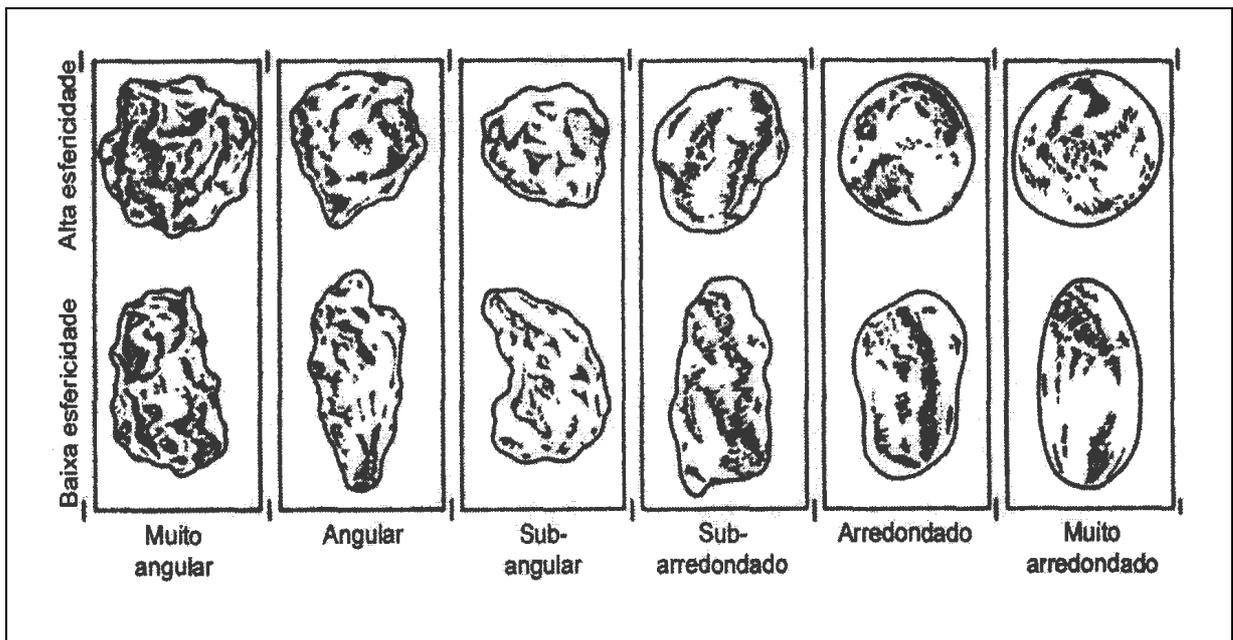


Figura 4 – Classes de arredondamento (McLANE, 1995)

O grau de arredondamento é definido como a média dos raios de curvatura dos cantos da projeção do grão dividida pelo raio máximo do círculo inscrito no grão, medida esta muito trabalhosa, e pode variar de 0 – 0,15 para grãos angulares, e de 0,60 – 1,00 para grãos bem arredondados (Suguio, 1973).

Quanto à esfericidade, a mesma pode ser expressa como a relação entre a área da superfície do grão pela área da superfície da esfera de mesmo volume do grão, definição esta originalmente conceituada por Wadell. Carr et al. (1990) apresentam a esfericidade como a relação entre o diâmetro do círculo com área igual à área da projeção da partícula e o diâmetro do menor círculo circunscrito na partícula, e atribuem valores variando de 0 até 1, sendo que grãos alongados exibem uma esfericidade média de 0,45, enquanto que grãos esféricos exibem valores próximos de 0,97. Os autores apresentam um novo enfoque para a determinação da forma do grão, que utiliza a dimensão fractal, pois, conforme os

autores, a esfericidade e o arredondamento estão limitados aos aspectos da forma, ao passo que a dimensão fractal é sensível à aspereza dos grãos e, portanto, relaciona a rugosidade e a textura superficial da partícula.

A influência da forma da partícula no grau de empacotamento foi estudada por Yu e Standish (1993), que apresentam duas equações nas quais relacionam a porosidade inicial com a esfericidade dos grãos (Equações 2 e 3), em que $\varepsilon(\Psi)$ é a porosidade inicial dos grãos de esfericidade Ψ .

$$\varepsilon(\Psi) = \varepsilon_S^{1.785 \Psi - 1.584 - 0.785 \Psi^{4.897}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\varepsilon(\Psi) = \varepsilon_S^{15.521 \Psi^{3.853} - 14.521 \Psi^{4.342}} \quad (\text{Equação 3})$$

Na Equação 2, ε_S é assumido igual a 0,38, isto é, a média do índice de vazios igual a 0,36 para grãos adensados e 0,40 para grãos soltos. Os autores comentam que a diferença entre as equações pode ser atribuída à diferença entre as formas dos grãos e ao método de adensamento adotado nos experimentos. Convém salientar que os autores definem a esfericidade como a razão entre a área superficial de uma esfera de mesmo volume da partícula e área superficial da partícula.

Kwan et al. (1999) assinalam que a investigação de parâmetros texturais das areias, bem como da microestrutura do concreto, passa a utilizar a análise de imagens como uma importante ferramenta, principalmente por causa do advento de novos programas computacionais para aquisição e tratamento de imagens. Para Coster e Chermant (2001), o conhecimento parcial de uma estrutura em 3D através de uma seção em 2D deve ser limitado a comparações, e não para estimar as características do material em 3D.

Esta técnica de processamento digital de imagem para quantificar os parâmetros de esfericidade, fator de forma de agregados graúdos para concreto, foi utilizada por Mora e Kwan (2000). Um dos problemas levantados pelos autores é de que diferentes pesquisadores estão usando diferentes índices de forma para descrever o mesmo atributo de forma, e até diferentes definições para o mesmo índice de forma.

A normalização brasileira define as dimensões de agregados, para fins de engenharia civil, na NBR 7225/93 – “Materiais de Pedra e Agregados Naturais”, na qual o comprimento é definido como a distância entre dois planos paralelos que

possam conter o agregado, em sua maior dimensão. A largura é definida como o diâmetro da menor abertura circular através do qual o agregado possa passar, e a espessura é a distância mínima de dois planos paralelos que possam conter o agregado.

Kwan et al. (1999) exemplificam as diferenças na descrição dos fatores, em que “*flatness*” é definida como a relação da espessura pela largura, enquanto outros autores a define como a relação da largura pela espessura. Outro exemplo é o fator “*elongation*”, definido como a relação da largura pelo comprimento, por um autor, e como a relação do comprimento pela largura, por outro. No Brasil, a norma NBR 7225/93 classifica os grãos, quanto à relação de dimensões, de acordo com os Quadros 3 e 4.

Quadro 3 – Pedregulho e areia

Classificação	Relações	
Alongado	$\frac{c}{l} > 1,5$	$\frac{l}{c} \leq 1,5$
Esférico (equiaxial)	$\frac{c}{l} \leq 1,5$	$\frac{l}{c} \leq 1,5$
Lamelar	$\frac{c}{l} > 1,5$	$\frac{l}{c} > 1,5$
Discóide (quadrático)	$\frac{c}{l} \leq 1,5$	$\frac{l}{c} > 1,5$

Quadro 4 – Pedra britada, pedrisco e pó de pedra.

Classificação	Relações	
Alongado	$\frac{c}{l} > 2$	$\frac{l}{c} \leq 2$
Cúbico	$\frac{c}{l} \leq 2$	$\frac{l}{c} \leq 2$
Lamelar	$\frac{c}{l} > 2$	$\frac{l}{c} > 2$
Quadrático	$\frac{c}{l} \leq 2$	$\frac{l}{c} > 2$

Onde: c – comprimento; l – largura.

Observa-se que a norma brasileira faz uma distinção entre os agregados naturais e os agregados obtidos por fragmentação artificial, alterando a relação entre as dimensões, talvez numa tentativa de incorporar a variação da textura dos grãos. Em função da dificuldade de medida das dimensões dos grãos das areias, pedrisco e pó de pedra, considera-se que esta classificação se aplica adequadamente aos agregados graúdos. Para o caso dos agregados miúdos, a projeção do grão se torna mais exequível.

Mora e Kwan (2000) apresentam alguns tipos de parâmetros de forma medidos nas projeções dos grãos, isto é, em 2D. A primeira medida é “*flakiness ratio*”, definida como a relação da espessura pela largura, sendo que a espessura média é o produto de um parâmetro(λ) dependente da “*flakiness*”¹ pela largura ou, em outros termos, definida conforme a Equação 4.

$$\lambda = \frac{M}{\left(\rho \times \sum (largura \times \acute{a}rea)\right)} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: M – massa total do agregado

ρ – massa específica do agregado

O segundo parâmetro mostrado pelos autores é o “*elongation ratio*”, definido como a relação do comprimento pela largura. Outro parâmetro sugerido é a esfericidade, determinada pela Equação 5.

$$\psi = \sqrt[3]{\lambda \times \left(\frac{largura}{comprimento}\right)^2} \quad (\text{Equação 5})$$

O fator de forma é definido pelos autores como a relação entre a espessura e a raiz quadrada do produto da largura pelo comprimento. Outro parâmetro definido pelos autores é “*convexity ratio*”², que é a relação da área pela área convexa do agregado, segundo Figura 5. Outro parâmetro que mede a convexidade é o “*fullness ratio*”³, definido como a raiz quadrada da relação da área pela área convexa.

¹ O termo *flakiness* é sinônimo de *flatness*.

² O termo *convexity ratio* não será traduzido, pois não existe termo correspondente no meio técnico nacional.

³ O termo *fullness ratio* não será traduzido, pois não existe termo correspondente no meio técnico nacional.

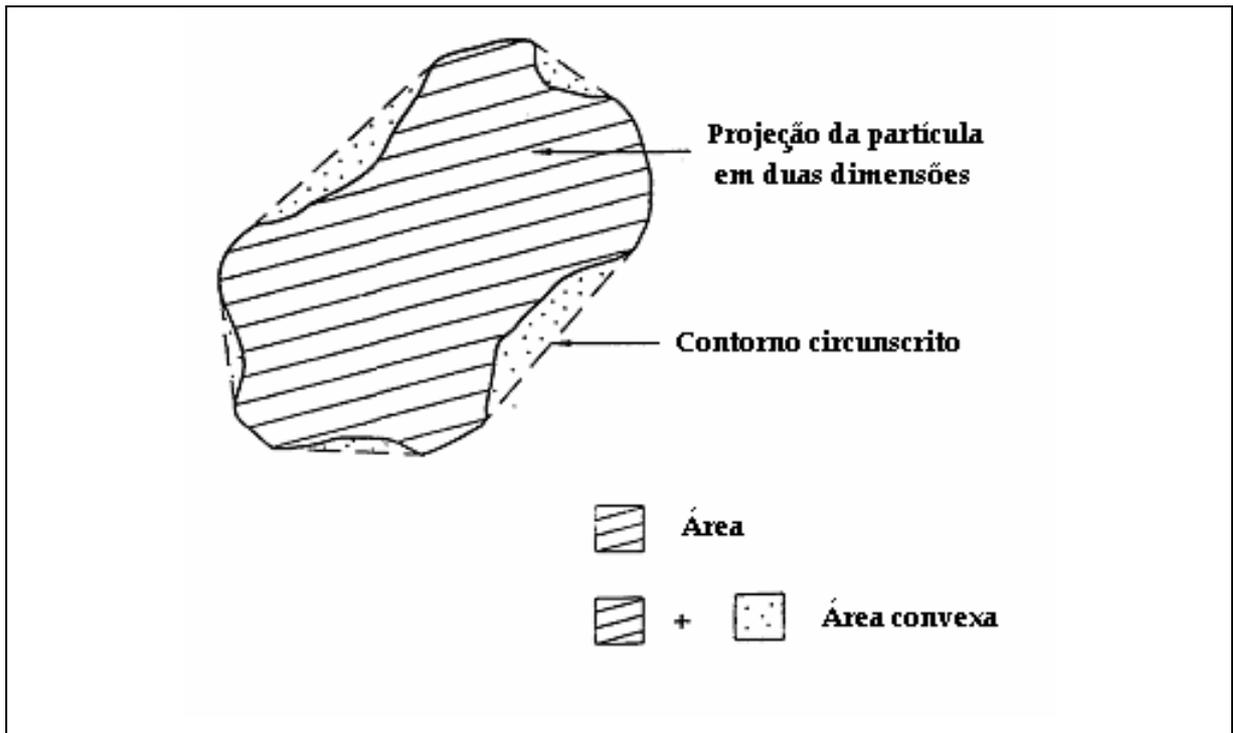


Figura 5 – Avaliação da área e da área convexa da partícula

Mesmo considerando-se as dimensões dos grãos a partir das suas projeções, as definições do que são o comprimento, largura e espessura destes variam de autor para autor, e os fatores de forma dos grãos são calculados com diferentes relações. Por exemplo, Fletcher e Bright (2000), para avaliarem as formas de pó mineral, utilizaram a relação comprimento / largura, o diâmetro da área projetada, a maior corda e a circularidade como fatores de forma dos grãos. A relação comprimento/largura foi obtida para o maior e menor eixo da melhor elipse embutida na partícula, mas que tivesse a mesma área da partícula. A circularidade (C) foi obtida pelos autores utilizando a Equação 6. Os autores comentam que um passo crítico na determinação dos parâmetros é a identificação do contorno do grão, mas que, ao se aumentar o número de pixels por partícula, a forma da partícula é mais bem representada.

$$C = \frac{P^2}{(4 \times A)} \quad \text{(Equação 6)}$$

Em que: P – é o perímetro da partícula (expressa em píxel),

A – área da projeção da partícula (expressa em píxel²).

Um dos trabalhos para a caracterização da forma e tamanho de agregado fino foi feito por Persson (1998) com auxílio da análise de imagens, em que foram

analisadas as frações 2 – 1mm; 1 – 0,5 mm; 0,5 – 0,25mm; 250 – 125 μm ; 125 – 63 μm e a fração < 63 μm tanto de agregado natural quanto de agregado britado. A autora ressalta que a geometria dos grãos, tradicionalmente expressa pelas relações largura / espessura (flakiness) e comprimento / espessura (elongation), não é indicada para a análise de materiais finos. A autora utilizou então a técnica da análise de imagem, na qual, na imagem projetada do grão, determinou os diâmetros de Feret, que são o D_{\min} e o D_{\max} .

Persson (1998) considerou dois conceitos de forma, que foi o alongamento ou escamosidade (F_{shape}) definido como a relação entre o D_{\min} e o D_{\max} . Outro conceito considerado foi a textura superficial, definida como a relação entre a área do grão e a área da elipse determinada pelos D_{\min} e o D_{\max} . Foram analisados 400 grãos para as três frações mais finas e 100 a 200 grãos para as maiores frações. Após análise estatística dos dados, a autora conclui que seriam necessários mais grãos para as frações mais grossas e que existe uma grande diferença entre a forma do agregado britado e natural, sendo que as maiores diferenças no alongamento ocorrem para os materiais menores do que 250 μm . A autora considera que, geralmente, os materiais britados de rocha são mais alongados e com superfícies mais rugosas (F_{shape} menores) do que o pedregulho natural.

Com o intuito de incorporar os diferentes aspectos da textura superficial dos grãos, Araújo (2001) apresenta como medições relativas à forma o fator de forma (F_f) obtido pela Equação 7 e o arredondamento (A_r) dado pela Equação 8.

$$F_f = \frac{4\pi S}{P^2} \quad (\text{Equação 7})$$

$$A_r = \frac{4S}{\pi(d_{\text{máx}})^2} \quad (\text{Equação 8})$$

Em que: S – área da projeção da partícula;

P – perímetro da projeção da partícula;

$d_{\text{máx}}$ - diâmetro máximo de Feret.

Araújo (2001) fez uma análise estatística para calcular o número mínimo de partículas a serem analisadas, em cada fração, para obter um nível de confiabilidade de 95%, quanto ao parâmetro esfericidade, e concluiu que o número mínimo a ser utilizado é de 158 partículas, para que se possa garantir uma acentuada correlação

estatística. Esta conclusão obtida por Araújo (2001) não corresponde à apresentada por Persson (1998), que sugere para as frações mais grossas um número de mais de 200 partículas. Adotou-se neste trabalho um número de partículas sempre maior do que 200 partículas.

D'Agostinho e Soares (2001), para analisarem a morfologia de cinco tipos de areia, valendo-se da microscopia óptica, adotaram o grau de arredondamento dos grãos, fornecido pelo programa "QWIN" do equipamento da marca Leica, como função do perímetro e da área de cada grão, com a complementação de classificação nominal. Os autores observaram que a areia de britagem de rocha foi o único tipo que apresentou material angular em todas as frações granulométricas, a areia eólica, material arredondado e bem arredondado, enquanto que a areia aluvionar, grãos subarredondados, arredondados e bem arredondados. Os autores concluem no trabalho que a areia resultante da britagem de rocha granítico-gnáissica é um material adequado para o preparo de argamassas.

Nas estações de tratamento de água, os pesquisadores se preocupam com os materiais granulares dos filtros. Vianna (1997) comenta que, entre as medições úteis da forma dos grãos de areia, destacam-se o coeficiente de esfericidade (C_e) e o fator de forma (S). O autor define o coeficiente de esfericidade como a relação entre a área superficial de uma esfera de mesmo volume da partícula e a área superficial dessa partícula, e o fator de forma como o produto da relação área / volume da partícula pelo diâmetro da esfera de mesmo volume da partícula. São exibidas diversas medições desses parâmetros para diferentes formas de grãos, mostrados no Quadro 5 e Figura 6.

Quadro 5- Coeficiente de esfericidade e fator de forma.

Forma do grão	Coeficiente de esfericidade	Fator de forma
Esférico (a)	1,00	6,0
Arredondado (b)	0,98	6,1
Desgastado (c)	0,95	6,4
Agudo (d)	0,81	7,4
Angular (e)	0,78	7,7
Triturado (f)	0,70	8,5

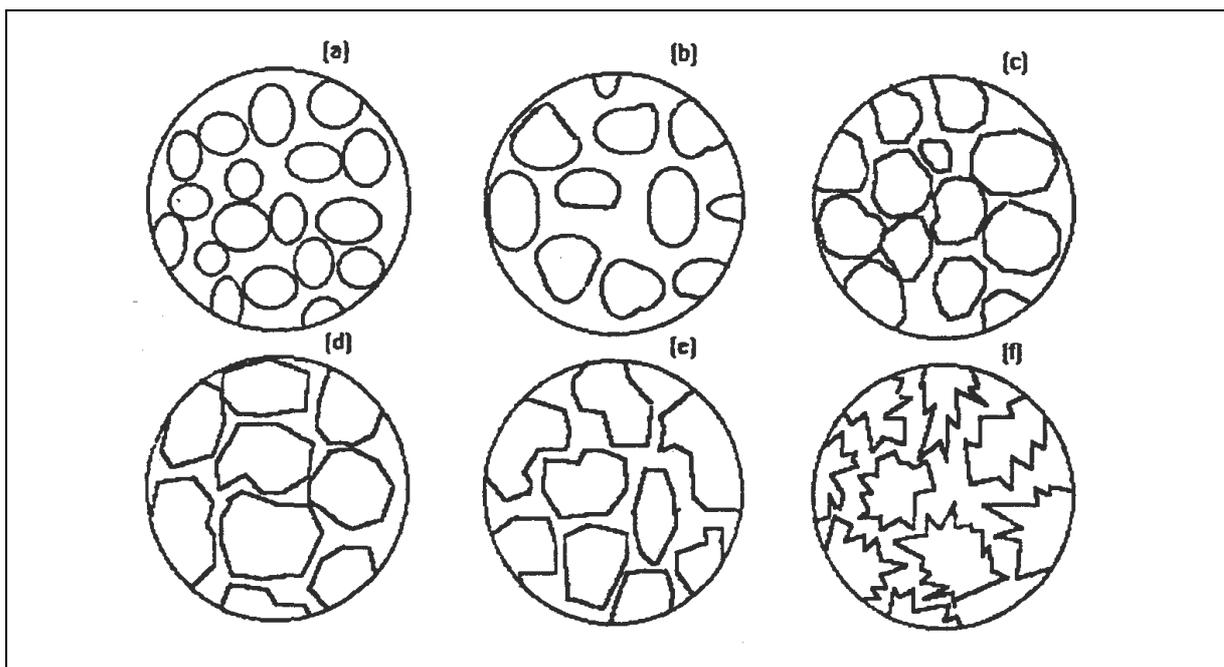


Figura 6 – Formas de grãos relacionados com a esfericidade.

Percebe-se que não existe um consenso na terminologia referente ao arredondamento e esfericidade, o que acarreta dificuldades de interpretação e correlação de dados de diferentes autores, que demonstram a necessidade de estabelecimento de uma linguagem padronizada. Destaca-se, nesta revisão bibliográfica, a crescente utilização da técnica da análise de imagem na determinação dos parâmetros morfométricos das areias, em face de dificuldade de medição direta das dimensões dos grãos.

Resumidamente, apresentam-se, no Quadro 6, as propriedades dos grãos de areia relacionadas com os parâmetros texturais, com indicação do procedimento para sua quantificação.

Quadro 6 – Propriedades dos grãos das areias.

Propriedades	Procedimentos
Composição granulométrica	Série normal iniciando com a peneira de abertura de malha 4,75 mm e finalizando com a peneira de abertura de malha 75 μ m
Rugosidade	Equação 1
Fator de forma	Equação 7
Arredondamento	Equação 8
Esfericidade	Carr et al. (1990)

2.3 ÁREA ESPECÍFICA DAS AREIAS

A área específica é definida na NBR 7224 (ABNT, 1996) como a área superficial de um sólido por unidade de massa ou de volume. Considera-se que esta propriedade agrega todas as variações relativas à forma e à textura superficial dos grãos, podendo ser usada como um parâmetro de controle das areias.

Há bastante tempo tem sido estudada a influência da área superficial nas propriedades dos concretos. Segundo Coutinho (1973), já em 1918, Edwards L. N. enunciava que a resistência de um concreto era tanto maior quanto menor fosse a área superficial do inerte a ligar. Também Singh (1959) apresenta uma metodologia de proporcionamento de agregados para concreto baseada na área específica dos mesmos.

Para Mehta e Monteiro (1994), a área específica volumétrica é usada para descrever a forma de agregados graúdos, sendo que grãos esféricos ou bem arredondados têm baixo valor de área específica e grãos alongados e achatados possuem elevado valor.

Currie (1980), pesquisando areias da Escócia usadas para assentamento de alvenaria estrutural, descreve que a água é a chave para obter uma argamassa de qualidade, e que a distribuição granulométrica, finura e forma do agregado, afetam a quantidade de água e indiretamente as propriedades de resistência, retração e retenção de água. Afirma ainda que diferenças na textura superficial podem ofuscar variações no conteúdo de água provenientes da granulometria ou da forma. Então o autor estudou a influência da área específica da areia e a relação água/cimento na resistência das argamassas. O autor escreve que a área específica de qualquer material fino é composta da superfície externa e da superfície interna, esta advinda de poros, fissuras ou rachaduras, e então determinou a área específica das areias usando a técnica de adsorção de nitrogênio, com o objetivo claro de considerar também esta superfície interna. Os resultados obtidos permitiram concluir que arenitos e basalto produziram maiores áreas específicas do que rochas metamórficas.

Nas conclusões relativas à influência da área específica no conteúdo de água das argamassas, Currie (1980) não encontrou uma influência significativa, e comenta que o volume de vazios da areia parece ter maior influência. Uma das

razões apresentadas é que a influência da área específica parece ter sido exagerada e que somente uma pequena parcela da área superficial total do agregado, a superfície externa, é que tem algum efeito na quantidade de água necessária para as argamassas. Currie (1980) menciona que o índice de vazios da areia é que parece ter mais influência no conteúdo de água das argamassas. Mas como o índice de vazios, segundo Yu et al.(1993), é dependente da forma e tamanho, e ainda conforme a ASTM C 1252 – 93, o índice de vazios tem influência da angulosidade, esfericidade e textura superficial, isto denota a influência dos parâmetros morfológicos dos grãos da areia nas propriedades das argamassas, que podem ser expressos em termos da área superficial externa dos grãos de areia.

As areias para argamassas podem apresentar formas e texturas superficiais muito diferentes de uma esfera com superfície lisa ou polida, o que dificulta a determinação da área superficial. Araújo (2001) fez uma análise de diversos métodos existentes para a determinação da área superficial de agregados, e destaca que a maioria dos métodos existentes se baseia em sólidos regulares devido à simplificação dos cálculos, concluindo que o único método analisado que leva em consideração a rugosidade superficial dos grãos é o método que utiliza a teoria dos fractais, conforme procedimento proposto por Carr et al. (1992).

O método estimativo da área superficial proposto por Carr et al (1992) consta da aplicação das Equações 9, 10 e 11, específicas para cada forma de grão, identificadas pelos autores como forma esférica, cúbica e piramidal.

$$\text{Área} = \frac{[(N + f / y)y^{D_f}]^2}{\pi} \quad \text{[esféricas]} \quad \text{(Equação 9)}$$

$$\text{Área} = \frac{3[(N + f / y)y^{D_f}]^2}{8} \quad \text{[cúbicas]} \quad \text{(Equação 10)}$$

$$\text{Área} = \frac{[(N + f / y)y^{D_f}]^2}{3\sqrt{3}} \quad \text{[piramidais]} \quad \text{(Equação 11)}$$

Em que: $(N + f / y)y^{D_f}$ = perímetro da projeção do grão; D_f = dimensão fractal.

A influência da área específica das areias nas argamassas está relacionada com a quantidade de pasta a ser usada e, conseqüentemente, com o conteúdo de

água. Podemos ter duas areias com a mesma distribuição granulométrica, mas com diferentes formas e texturas superficiais dos grãos que as compõem, que irão conduzir a diferentes teores de aglomerantes, pois haverá diferentes áreas superficiais a unir, interferindo na quantidade de pasta a ser usada na dosagem das argamassas.

Várias especificações de areias para argamassas, analisadas por Tristão (1995), sugerem faixas granulométricas, em virtude do seu emprego como emboço ou reboco. Estas especificações também recomendam areias com grãos de forma arredondada. A variação no volume de vazios das areias em função da distribuição granulométrica ficou caracterizada no trabalho de Tristão (1995) e também no estudo desenvolvido por Carneiro (1999). A necessidade de estabelecer parâmetros relativos à forma dos grãos das areias ficou evidente na análise das bibliografias apresentadas, sendo que estabelecer composições granulométricas sem quantificar a forma dos grãos pode ocasionar a produção de argamassas inadequadas, pois se pode ter areias com as mesmas distribuições granulométricas, mas que exibem variações no volume de vazios em decorrência da forma dos grãos. A variação no volume de vazios das areias normalmente é apresentada na forma da massa unitária no estado solto, que é utilizada na transformação dos proporcionamentos dos materiais de volume para massa, ou vice-versa, na produção das argamassas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O planejamento experimental consistiu inicialmente na escolha de areias com diferenças nos aspectos de forma e textura. Foram produzidas areias com diferentes composições granulométricas, com as quais foram preparadas argamassas mistas com cimento Portland CP II Z -32, cal hidratada CHIII e areia seca.

No projeto experimental, foram estabelecidas como variáveis independentes:

- 3 tipos de areias quanto à forma e textura superficial;
- 6 composições granulométricas; e
- 2 proporções de mistura de argamassas mistas.

As variáveis dos três tipos de areia foram a rugosidade, arredondamento, fator de forma e esfericidade. Quanto à composição granulométrica, as variáveis foram o coeficiente de uniformidade, módulo de finura, teor de finos e área específica. As proporções de mistura variam quanto ao conteúdo de cimento e de cal.

Foram fixados o índice de consistência das argamassas em (265 ± 15) mm, e o tipo de cura, que foi realizado em sala climatizada com temperatura variando de $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$, a umidade relativa do ar no intervalo de 50 à 80% e a idade de ensaio dos corpos-de-prova no estado endurecido em 28 dias.

A seguir, são apresentadas as características dos materiais empregados, os procedimentos adotados na produção das argamassas e os métodos de ensaios destas.

3.1 AREIAS

A partir da revisão bibliográfica de que as areias eólicas são as que apresentam os grãos com maior grau de arredondamento (Beal e Shepard, 1956; Suguio, 1973; D'Agostinho e Soares, 2001), enquanto que as areias industrializadas, ou seja, as areias provenientes do britamento de rochas, são as que apresentam os grãos mais angulares (Kandhal et al., 1991; Persson, 1998; D'Agostinho e Soares, 2001), decidiu-se por avaliar três tipos de areia cujos graus de arredondamento variassem de angular a arredondado.

Foi selecionada então uma areia eólica que é muito utilizada para a produção de argamassas de revestimento, da região de Imbituba – SC, uma areia extraída do leito do rio Tijucas, no município de Tijucas – SC, também muito utilizada para argamassa, e uma terceira areia proveniente do britamento de rocha granítica, no município de Palhoça – SC, ainda não comercializada para a produção de argamassa.

A escolha da areia resultante do britamento de rocha granítica foi devido ao fato de a maioria das pedreiras de extração de britas para a construção civil serem provenientes de rochas graníticas ou gnáissicas.

A escolha da areia do rio Tijucas se deu por ter sido utilizada no trabalho desenvolvido por Tristão (1995) quando foi avaliada a influência da composição granulométrica das areias para argamassas de revestimento. Como na época o autor não avaliou a forma e a textura superficial da areia, os resultados obtidos pelo mesmo foram agora objeto de avaliação à luz dos parâmetros texturais das areias.

A areia de origem eólica foi escolhida com base na revisão bibliográfica, que classifica os grãos como arredondados. Porém, como os tamanhos dos grãos são ligados ao meio de transporte (Suguio, 1973), a seleção dos grãos desta areia é muito grande e não apresenta grãos nas frações acima da peneira de abertura de malha 0,600 mm. Este fato motivou a inclusão de uma quarta areia a fim de compor a areia de duna, mas que tivesse forma e textura superficial próxima da areia de duna. Com base na revisão bibliográfica, de que as areias em ambiente de praia e bancos de areia também apresentam grãos bem selecionados, variando de subangulares a bem arredondados (Suguio, 1973), mas que exibem grãos de maiores dimensões do que a areia eólica, foi utilizada uma areia de praia, para compor a areia de duna. Esta areia foi recolhida em praia na Ilha de Florianópolis – SC, após uma investigação junto ao Departamento de Geografia da UFSC quanto aos tipos de areia das diversas praias existentes na região.

Foi adotado no trabalho um critério de identificação destas areias em função do local da extração, doravante denominadas como areias de **pedra, rio, duna**. A areia de duna representa tanto as frações da areia de duna propriamente dita, assim como as frações da areia de praia.

Com o intuito de preparar as diversas frações para compor as areias, as mesmas foram inicialmente submetidas a processo de peneiramento utilizando as peneiras definidas na NBR 7217 acrescidas da peneira ABNT 0,075 mm. Em seguida, as areias então separadas nas frações 4,75 – 2,36 mm, 2,36 – 1,18 mm, 1,18 – 0,600 mm, 0,600 – 0,300 mm, 0,300 – 0,150 mm, 0,150 – 0,075 mm foram lavadas em água corrente com o objetivo de eliminar os sais solúveis eventualmente presentes nas frações, além da eliminação de material pulverulento. Para o caso das frações da areia de praia, estas continham fragmentos de conchas que foram eliminados por ataque de ácido clorídrico. Após o ataque, estas frações foram lavadas em água corrente até que a água de lavagem atingisse um pH entre 6 e 7 e secas em estufa a 110 ± 5 ° C.

Para garantir que as diversas frações das areias apresentassem aproximadamente as mesmas distribuições granulométricas, submeteram-se novamente todas as frações a um novo peneiramento, utilizando-se agora das peneiras da série normal especificada pela NBR 5734/88, iniciando com a peneira ABNT 4,75 mm e finalizando com a peneira ABNT 0,075 mm. Este peneiramento foi manual e realizado até que a massa de material passante, após 1 minuto de agitação contínua, fosse inferior a 1% do material retido. Deve-se salientar que, em função da grande quantidade de material necessário para a pesquisa em cada fração, aliada ao grande número de peneiras, esta etapa de preparação das frações foi a que despendeu mais tempo de serviço durante todas as fases do trabalho.

A fração das areias abaixo da peneira ABNT 0,075 mm foi obtida após moagem para o caso da areia de rio e duna, enquanto que para a areia de pedra, a quantidade obtida no peneiramento foi suficiente para compor as areias. Estas frações foram submetidas ao ensaio de determinação da distribuição granulométrica por difração laser, através do equipamento “Analisador de partículas Malvern Mastersizer, versão 1.2b, série n. 7386”. O ensaio foi realizado nos laboratórios da empresa Grace Brasil Ltda, localizados em Sorocaba – S.P. Os resultados desta caracterização constam do Quadro 7 e das Figuras 7 e 8.

Quadro 7 – Características granulométricas das frações das areias abaixo # 0,075 mm através de granulômetro a laser.

Características	Areia		
	Pedra	Rio	Duna
Área específica (SSA) (m ² /g)	0,4526	0,6729	1,0840
d(0,1)	5,19 µm	2,92 µm	2,63 µm
d(0,5)	38,10 µm	24,62 µm	7,06 µm
d(0,9)	89,33 µm	79,23 µm	24,95 µm

As características indicadas no Quadro 7, identificadas como d(0,1), d(0,5) e d(0,9), correspondem à dimensão de partículas em que 10%, 50% e 90% do material estão abaixo daquelas dimensões, respectivamente. Deve-se observar que os resultados estão calculados e baseados nos dados de difração a laser e são apresentados como porcentagem do volume de partículas, portanto, diferentes dos resultados apresentados numa granulometria por peneiramento, cujos resultados são apresentados em relação à massa total do material. Comparativamente, verifica-se que a fração da areia de duna é muito mais fina do que as outras areias, para todas as características dimensionais dos grãos mostrados no Quadro 7.

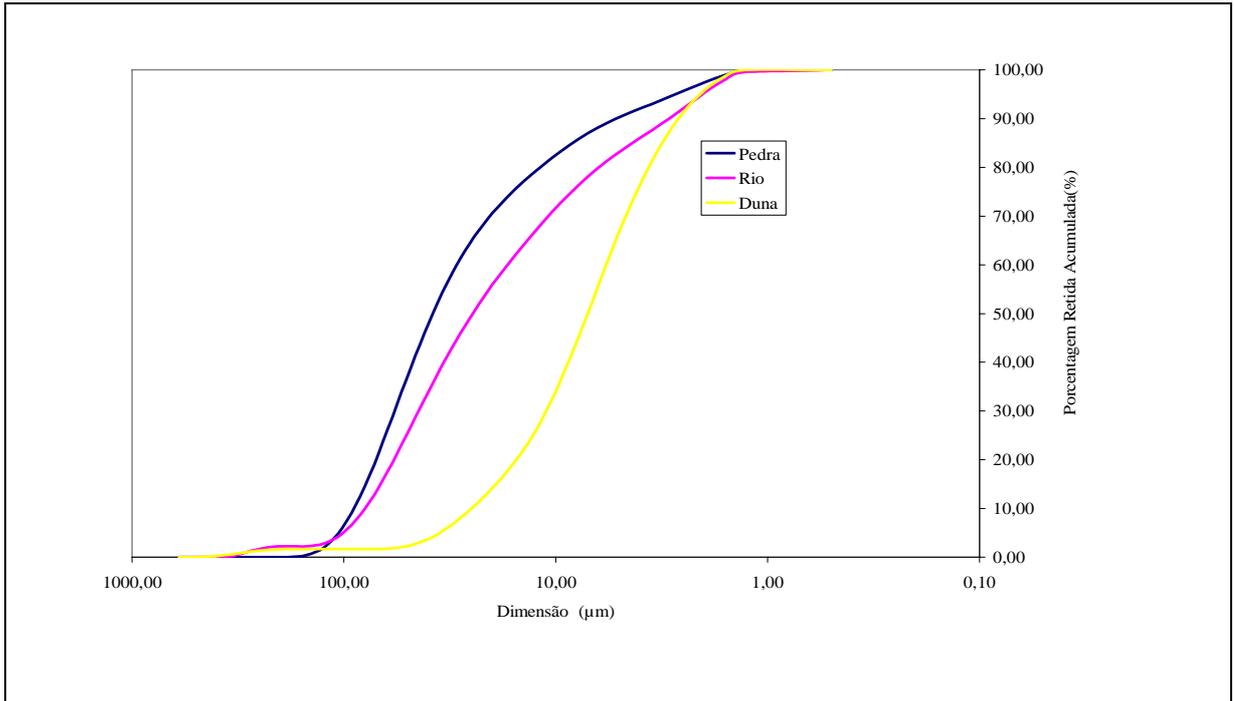


Figura 7 – Curva granulométrica das frações abaixo # 0,075 mm através de granulômetro a laser (porcentagem retida acumulada).

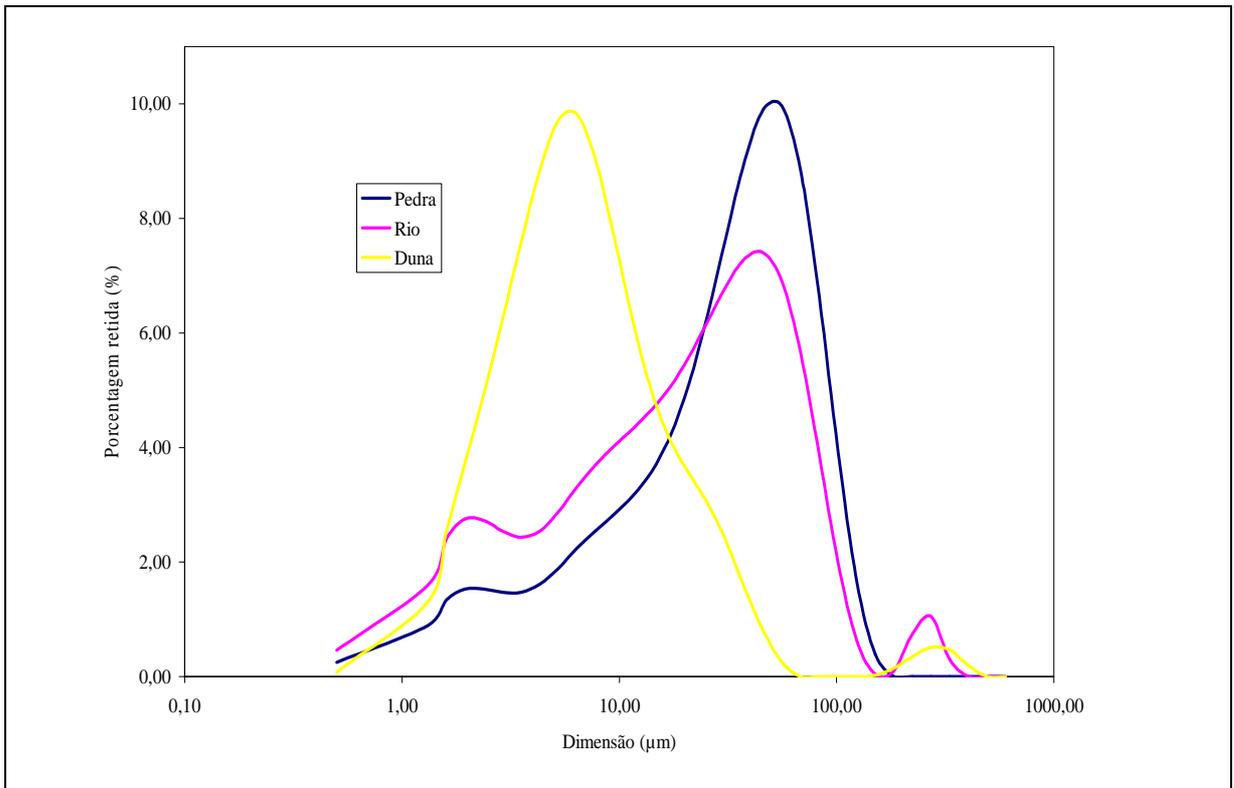


Figura 8 – Curva granulométrica das frações abaixo # 0,075 mm através de granulômetro a laser (porcentagem retida).

Nestas mesmas frações das areias abaixo da peneira ABNT 0,075 mm, foi realizado, no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC, o ensaio de

determinação da área específica usando o permeabilímetro Blaine, conforme procedimento da NBR 7224/84, obtendo-se os resultados de 212 m²/kg para areia de pedra, 433 m²/kg para areia de rio e de 353 m²/kg para areia de duna. De acordo com nota técnica do fabricante do equipamento Malvern, o valor obtido pode ser convertido para fins de comparação com o valor do permeabilímetro Blaine através da Equação 12, em que SSA é a área específica. Utilizando-se desta equação, obtêm-se os resultados de 65,3 m²/kg para areia de pedra, 87,3 m²/kg para areia de rio e de 128 m²/kg para areia de duna.

$$AE = ((SSA * 1000) + 200) \quad (\text{Equação 12})$$

Existe uma grande diferença entre os resultados de determinação da área específica determinados no granulômetro a laser em relação aos resultados obtidos com o permeabilímetro Blaine, merecendo portanto maiores estudos para que se possam correlacionar os resultados dos ensaios de determinação da área específica.

A partir dos novos peneiramentos, montaram-se as frações para cada tipo de areia, que ficaram com as composições granulométricas apresentadas na Tabela 1. Observa-se que a distribuição granulométrica das frações variou em mais ou menos 5% em relação à areia de rio, que serviu como referência, pois esta areia já tinha sido utilizada na produção de argamassas, no trabalho de Tristão (1995). A única fração que não seguiu o procedimento descrito foi a fração 0,150 – 0,075 mm da areia de duna, devido à dificuldade de obtenção de grãos desta areia nas peneiras 0,090 e 0,075 mm.

Tabela 1 – Composição granulométrica das frações segundo a série normal de peneiras conforme a NBR 5734/88.

FRAÇÃO(mm)	PENEIRA (mm)	% RETIDA		
		AREIA RIO	AREIA PEDRA	AREIA DUNA
4,75 – 2,36	4,0	5	8	1
	3,35	30	25	28
	2,80	28	25	30
	2,36	37	42	41
2,36 – 1,18	2,00	24	29	21
	1,68	27	27	30
	1,41	19	18	15
	1,18	30	26	34
1,18 – 0,600	1,00	33	32	29
	0,84	28	29	30
	0,71	6	9	10
	0,600	33	30	31
0,600 – 0,300	0,500	29	27	26
	0,421	25	23	21
	0,350	28	30	30
	0,300	18	20	23
0,300 – 0,150	0,250	45	40	40
	0,210	37	33	33
	0,180	7	12	12
	0,150	11	15	15
0,150 – 0,075	0,125	23	27	66
	0,106	31	29	33
	0,090	27	21	1
	0,075	19	23	0

Com as frações assim preparadas, foram produzidas areias cujas granulometrias fossem as que Tristão (1995) usou, definidas pelo autor como BSI 1R, BSI 1E, ABNT 1R, ASTM 1E, DTU 1E. Adotou-se mais uma distribuição granulométrica a fim de ampliar a variação dos coeficientes de uniformidade,

identificada como N.6. Todas as composições granulométricas estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição granulométrica das areias (porcentagem retida)

Peneiras (mm)	Identificação					
	BSI 1R	ABNT 1R	BSI 2E	ASTM 1E	DTU 1E	N.6
4,75	0	0	0	0	0	0
2,36	0	0	0	10	6	0
1,18	0	0	0	30	18	29
0,600	0	17	20	25	17	23
0,300	50	27	40	25	17	19
0,150	40	10	30	10	17	15
0,075	5	41	5	0	10	14
< 0,075	5	5	5	0	15	0
Coeficiente de uniformidade*	2,3	4,2	2,9	4,0	12,2	7,0
Módulo de finura	1,40	1,15	1,70	3,05	2,04	2,38
Teor de finos** (%)	5	5	5	0	15	0

* Coeficiente de uniformidade definido como a relação entre as malhas das peneiras correspondentes a 60% e 10% do material passante.

** Teor de finos representa o material que passa na peneira ABNT 0,075 mm.

As frações e as areias produzidas foram submetidas à análise mineralógica e à morfoscopia, além dos ensaios de massa específica e massa unitária no estado solto. Por meio da técnica de análise de imagens, também foram determinados os parâmetros relativos ao tamanho dos grãos, que serão a seguir apresentados.

3.1.1 Análise mineralógica e morfoscopia

A análise mineralógica e a morfoscopia, que é uma técnica exclusivamente descritiva que avalia o grau de esfericidade e de arredondamento dos grãos, foi realizada por geólogo especializado na análise destas características.

Para a avaliação do arredondamento e da composição, foram utilizadas estimativa visual comparativa e identificação mineralógica, respectivamente, a partir da contagem de um mínimo de 300 pontos por amostra. As amostras foram espalhadas em uma placa de petri de modo a cobrir a quase totalidade do seu fundo. Campos aleatoriamente posicionados sob a lupa, com auxílio de uma platina móvel, foram avaliados na totalidade dos seus grãos, com auxílio de uma ocular quadriculada.

Estudos de arredondamento são usualmente elaborados a partir de análise comparativa com cartas de formato de grão, como apresentada em Powers (1953), em que são discriminadas cinco classes: angular, subangular, subarredondado, arredondado, bem arredondado. Os resultados destes estudos nas frações das areias podem ser visualizadas nas Tabelas 3 a 16.

Tabela 3 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna, fração 2,36 - 1,18mm (328 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	84,0	14	24	62
feldspatos	7,3	4	42	54
fragmentos de rocha	6	60	30	10
bioclasto	2,3	-	-	-
ilmenita	0,3	-	-	-

Quartzo policristalino foi contabilizado como quartzo. Entre os quartzos, poucos grãos estão angulosos, mas a maioria se apresenta de arredondado a bem arredondado. A pequena quantidade de feldspato indica razoável maturidade mineralógica. Os feldspatos mostram grãos de arredondados a bem arredondados, estando, entretanto, condicionados pela clivagem. Entre os bioclastos, foram

encontrados bivalves e cirripédias, mostrando evidência de retrabalho praial. As populações exibem baixa esfericidade e elevado polimento.

Tabela 4 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna, fração 1,18 – 0,600mm (311 grãos)

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	82,66	12	51	37
feldspatos	8,33	8	48	44
fragmentos de rocha	4,66	70	24	6
bioclastos	4,33	-	-	-

Entre os quartzos, poucos grãos são angulosos, mas a maioria se apresenta de subarredondado a bem arredondado. A pequena quantidade de feldspato indica razoável maturidade mineralógica. Feldspatos mostram grãos de subarredondados a bem arredondados, com algum condicionamento pela clivagem. Entre os bioclastos, foram encontrados bivalves, cirripédias, gastrópodes e echnoidea, mostrando evidência de retrabalho praial. As populações mostram baixa esfericidade e elevado polimento.

Tabela 5 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna, fração 0,600 – 0,300mm (335 grãos)

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	93,66	37	21	42
feldspatos	2	0	66	33
fragmentos de rocha	1	21	67	12
pesados (zircão, espinélio, hornblenda)	1	58	42	0
biotita	0,66	33	66	0
bioclasto	0,6	-	-	-
muscovita	0,66	33	6	0
Hidróxido	0,33	0	100	0

Uma fração dos grãos de quartzo está angulosa, mas a maioria se apresenta de arredondado a bem arredondado. É notável a mistura destas populações. A pequena quantidade de feldspato indica maturidade mineralógica. Micas mostram grãos de subangulares a arredondados, estando, entretanto, condicionadas fortemente pela clivagem. Os bioclastos encontrados correspondem a fragmentos de bivalves. As populações, no geral, mostram baixa esfericidade. Porém, populações de quartzo arredondado alcançam elevada esfericidade. Grande parte dos grãos alcançou elevado polimento.

Tabela 6 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de duna, fração 0,300 – 0,150mm (332 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	96,66	18	23	59
feldspatos	1	0	66	33
hidróxido	1	0	100	0
Pesados (zircão, espinélio, hornblenda)	1	33	6	0
fragmentos de rocha	0,33	100	0	0

Os quartzos se apresentam na maioria de arredondado a bem arredondado. A pequena quantidade de feldspato indica maturidade mineralógica. As populações, no geral, mostram média esfericidade. Contudo, populações de quartzo arredondado alcançam elevada esfericidade. Grande parte dos grãos alcançou elevado polimento.

Tabela 7 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 4,75 – 2,36 mm (382 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	51,4	98	2	0
feldspatos	34,1	100	0	0
fragmentos de rocha	14,5	100	0	0

Entre os quartzos, a grande maioria dos grãos está angulosa, com uma pequena parcela da população se apresentando subangulosa. A grande quantidade de feldspato e fragmentos de rocha indica imaturidade mineralógica. Feldspatos mostram grãos angulosos, estando condicionados pela clivagem. As populações mostram baixa esfericidade e baixo polimento.

Tabela 8 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 2,36 – 1,18mm (321 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	56,33	93	7	0
feldspatos	31	100	0	0
fragmentos de rocha	12,33	100	0	0
hidróxido	0,33	100	0	0

Entre os quartzos, a grande maioria dos grãos está angulosa, com uma pequena parcela da população se apresentando subangulosa. A grande quantidade de feldspato e fragmentos de rocha indica imaturidade mineralógica. Feldspatos mostram grãos angulosos, estando condicionados pela clivagem. As populações apresentam baixa esfericidade e baixo polimento.

Tabela 9 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 1,18 – 0,600mm (313 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	51,66	97	3	0
feldspato	38,66	97	0	3
fragmento de rocha	8,33	100	0	0
micas alteradas	0,66	0	33	66
hidróxido	0,66	100	0	0

A grande maioria dos grãos de quartzo está angulosa, com uma pequena parcela da população se apresentando subangulosa. A grande quantidade de

feldspato e fragmentos de rocha indica imaturidade mineralógica. Feldspatos mostram grãos angulosos, estando condicionados pela clivagem. Este condicionamento, todavia, se mostra em menor intensidade que as amostras de rio de maior granulometria. Ocorre uma pequena população de feldspatos caulinizados com elevado arredondamento. É notável a presença de uma população pequena de micas alteradas (hidratação), com condicionamento pela clivagem basal, mas com elevado arredondamento. As populações mostram baixa esfericidade e baixo polimento.

Tabela 10 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 0,600 – 0,300mm (344 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	59,2	91	9	0
feldspatos	33	97	3	0
fragmentos de rocha	4,4	100	0	0
micas	3	66	33	0
hidróxido	0,3	100	0	0

Entre os quartzos, a grande maioria dos grãos está angulosa, com uma pequena parcela da população se apresentando subangulosa. A grande quantidade de feldspato e fragmentos de rocha indica imaturidade mineralógica. Feldspatos mostram grãos angulosos, estando condicionados pela clivagem. Este condicionamento, entretanto, se mostra em menor intensidade que as amostras de rio de maior granulometria. Ocorre a inversão do arredondamento da população pequena de micas, agora pouco alteradas, mas ainda com condicionamento pela clivagem basal. As populações apresentam baixa esfericidade e baixo polimento.

Tabela 11 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de rio, fração 0,300 – 0,150mm (314 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
quartzo	48,33	92	8	0
Feldspato	42,33	94	6	0
Micas	6,33	66	33	0
Hidróxido	2,33	33	33	33
fragmento de rocha	0,66	100	0	0

A maior porcentagem dos grãos de quartzo está angulosa, com uma pequena parcela da população se apresentando subangulosa. A grande quantidade de feldspatos indica imaturidade mineralógica. Feldspatos mostram grãos angulosos, estando condicionados pela clivagem. Este condicionamento, porém, se mostra em menor intensidade que as amostras de rio de maior granulometria. A população de micas se mostra entre subangular e angular. A queda na população de fragmentos de rocha em relação às amostras de maior granulometria é devido à liberação dos cristais isolados de feldspato e quartzo a partir da quebra dos grãos de rocha. As populações mostram baixa esfericidade e baixo polimento.

Tabela 12 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 4,75 – 2,36mm (306 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
fragmentos de rocha	84	100	0	0
feldspatos	14	100	0	0
quartzo	2	100	0	0

Predominância de grãos de rocha, com poucos grãos compostos exclusivamente de feldspato e raros por quartzo. As populações mostram baixa esfericidade e nenhum polimento.

Tabela 13 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 2,36 - 1,18mm (345 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
fragmentos de rocha	65,66	100	0	0
feldspatos	25	100	0	0
quartzo	9,33	100	0	0

Grande maioria de grãos de rocha, com poucos grãos compostos exclusivamente de feldspato e raros por quartzo. As populações mostram baixa esfericidade e nenhum polimento.

Tabela 14 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 1,18 - 0,600mm (355 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
feldspatos	68,8	100	0	0
fragmentos de rocha	18,1	100	0	0
quartzo	14,1	100	0	0

A inversão entre a população de fragmentos de rocha e o feldspato, em relação às amostras de maior granulometria, é devido à liberação dos cristais isolados de feldspato a partir da quebra dos grãos de rocha. As populações mostram baixa esfericidade e nenhum polimento.

Tabela 15 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 0,600 - 0,300mm (371 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
feldspatos	52,66	100	0	0
quartzo	31,66	100	0	0
micas	9,33	100	0	0
fragmentos de rocha	6,33	100	0	0

Tabela 16 – Análise mineralógica e arredondamento da areia de pedra, fração 0,300 – 0,150mm (359 grãos).

Mineral	Proporção (%)	Arredondamento (%)		
		angular a subangular	subarredondado	arredondado a bem arredondado
feldspatos	51,33	100	0	0
quartzo	38,66	100	0	0
micas	6,33	100	0	0
fragmentos de rocha	3,66	100	0	0

Em ambas amostras de areia das Tabelas 15 e 16, a inversão entre a população de fragmentos de rocha e o feldspato/quartzo/micas, em relação às amostras de maior granulometria, é devida à liberação dos cristais isolados destes minerais, a partir da quebra dos grãos de rocha. As populações mostram baixa esfericidade e nenhum polimento.

Todas as frações das areias de rio e de pedra se apresentam com baixa esfericidade e baixo polimento e, na areia de duna, as frações 2,36 – 1,18 e 1,18 – 0,600 mm apresentam grãos de baixa esfericidade, mas com elevado polimento.

3.1.2 Massa específica

A determinação da massa específica de cada fração foi feita utilizando-se um picnômetro com capacidade de 50 ml, baseado na NBR 6508/84, que consiste em determinar o volume de água deslocado pela areia, através da diferença de massa do recipiente com e sem areia. Os resultados apresentados na Tabela 17 são médios de duas determinações com variação máxima permitida de 1%.

Tabela 17- Massa específica média dos grãos das frações das areias.

Fração (mm)	Massa específica (kg/dm ³)		
	Areia Pedra	Areia Rio	Areia Duna
4,75 – 2,36	2,625	2,620	2,597
2,36 – 1,18	2,609	2,615	2,597
1,18 – 0,600	2,619	2,619	2,636
0,600 – 0,300	2,609	2,615	2,636
0,300 – 0,150	2,624	2,633	2,638
0,150 – 0,075	2,620	2,627	2,636
< 0,075	2,625	2,627	2,636

Nas areias compostas com as granulometrias exibidas na Tabela 4, também foram determinadas as massas específicas, conforme Tabela 18, tendo em vista que estes resultados serão utilizados nos cálculos do teor de ar incorporado das argamassas produzidas com estas areias.

Tabela 18- Massa específica média das areias.

Areia	Massa específica (kg/dm ³)	
	Pedra	Duna
BSI 1R	2,586	2,627
ABNT 1R	2,587	2,623
BSI 2E	2,598	2,635
ASTM 1E	2,616	2,616
DTU 1E	2,597	2,633
N.6	2,612	2,641

Com o intuito de auxiliar a análise da composição granulométrica das areias e também na avaliação da área específica em massa e volume, foram determinadas

as massas médias e o volume dos grãos das areias, com os procedimentos a seguir descritos.

Para cada fração foi determinada a massa média dos grãos, obtidos pela pesagem de no mínimo 800 grãos, tendo em vista a precisão do equipamento de pesagem. Utilizou-se uma balança analítica com a menor leitura igual a 10^{-4} g. A contagem dos grãos foi feita a olho nu para as frações 4,8 – 2,4 mm, 2,4 – 1,2 mm, 1,2 – 0,600 mm, enquanto que para as frações mais finas, isto é, 0,600 – 0,300 mm, 0,300 – 0,150 mm, 0,150 – 0,075 mm, foi utilizado um microscópio ótico. Os resultados podem ser vistos na Tabela 19.

Tabela 19- Massa média dos grãos das areias.

Fração (mm)	Massa (g)		
	Areia Pedra	Areia Rio	Areia Duna
4,75 – 2,36	$3,160 \times 10^{-2}$	$3,950 \times 10^{-2}$	$3,000 \times 10^{-2}$
2,36 – 1,18	$8,400 \times 10^{-3}$	$7,986 \times 10^{-3}$	$6,333 \times 10^{-3}$
1,18 – 0,600	$0,795 \times 10^{-3}$	$1,301 \times 10^{-3}$	$1,050 \times 10^{-3}$
0,600 – 0,300	$0,950 \times 10^{-4}$	$1,988 \times 10^{-4}$	$0,927 \times 10^{-4}$
0,300 – 0,150	$1,270 \times 10^{-5}$	$2,260 \times 10^{-5}$	$1,240 \times 10^{-5}$
0,150 – 0,075	$1,557 \times 10^{-6}$	$1,886 \times 10^{-6}$	$4,777 \times 10^{-6}$

A partir da massa média dos grãos, calculou-se o número de grãos por grama para cada fração e tipo de areia, que estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20- Número médio dos grãos por grama de fração de areia.

Fração (mm)	Número de grãos		
	Areia Pedra	Areia Rio	Areia Duna
4,75 – 2,36	31,6	25,3	33,3
2,36 – 1,18	119,1	125,2	157,9
1,18 – 0,600	1.257,9	768,6	952,4
0,600 – 0,300	10.526,3	5.030,2	10.787,5
0,300 – 0,150	78.740,2	44.247,8	80.645,2
0,150 – 0,075	642.260,7	530.222,6	209.336,4

Dr. Alan Rawle (Malvern Instruments Limited) – “*Basic principles of particle size analysis*”, descreve que 1 grama de sílica com grãos de dimensão de $1\mu\text{m}$ (densidade de $2,5\text{ kg/dm}^3$) contém aproximadamente 760×10^9 partículas e, se os grãos tiverem a dimensão de $10\mu\text{m}$, a amostra contém em torno de 760×10^6 partículas.

Foi determinado indiretamente o volume médio dos grãos das areias para cada fração, a partir da massa dos grãos e da massa específica. Como exemplo, na fração 4,75 – 2,36 mm da areia de pedra, a massa média de um grão é de $3,160 \times 10^{-2}\text{ g}$ e, na determinação da massa específica, o volume deslocado foi de $2,287\text{ cm}^3$ para uma massa de grãos igual a 6,017 g. Logo, em 6,017 g existem 190,41139 grãos que ocupam um volume de $2,287\text{ cm}^3$, o que acarreta um volume unitário de $1,201 \times 10^{-2}\text{ cm}^3$. Os resultados das frações estão apresentados na Tabela 21 abaixo.

Tabela 21- Volume médio dos grãos das areias.

Fração (mm)	Volume (cm ³)		
	Areia Pedra	Areia Rio	Areia Duna
4,75 – 2,36	$1,201 \times 10^{-2}$	$1,506 \times 10^{-2}$	$1,156 \times 10^{-2}$
2,36 – 1,18	$3,210 \times 10^{-3}$	$3,045 \times 10^{-3}$	$2,430 \times 10^{-3}$
1,18 – 0,600	$3,030 \times 10^{-4}$	$4,955 \times 10^{-4}$	$3,975 \times 10^{-3}$
0,600 – 0,300	$3,625 \times 10^{-5}$	$7,580 \times 10^{-5}$	$3,505 \times 10^{-5}$
0,300 – 0,150	$4,815 \times 10^{-6}$	$8,580 \times 10^{-6}$	$4,690 \times 10^{-6}$
0,150 – 0,075	$5,930 \times 10^{-7}$	$7,165 \times 10^{-7}$	$18,080 \times 10^{-7}$

3.1.3 Massa unitária

A massa unitária das frações das areias e nas areias compostas foi determinada considerando dois métodos de ensaios, um preconizado pela ASTM e outro pela ABNT. Utilizando-se a norma ASTM C 1252 – 93 – *Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)*, determinou-se a relação massa / volume solto dos grãos, também denominada de massa unitária no estado solto. O referido método preconiza três procedimentos distintos: o procedimento A, em que a amostra é a areia total, como recebida, o procedimento B é feito para cada fração da areia, e o terceiro procedimento C, no qual o volume de vazios é determinado na amostra total menos os grãos retidos na peneira 4,75 mm. No procedimento B, somente as frações 2,36mm - 1,18mm; 1,18mm – 600µm; 600µm - 300µm são objeto de ensaio, sendo que, neste trabalho, foram realizados os ensaios em todas as frações, adotando como massa de cada fração o valor recomendado de 190 gramas. Também foi utilizado o procedimento A para a caracterização das areias compostas, com as granulometrias descritas na Tabela 2. Os resultados destes ensaios constam das Tabelas 22 e 23.

Tabela 22- Massa unitária das frações das areias.

Fração (mm)	Massa Unitária Média - ASTM (kg/dm ³)		
	Pedra	Rio	Duna
4,75 - 2,36	1,383	1,491	1,731
2,36 - 2,00	-	-	1,726
2,00 - 1,70	1,283	-	1,706
1,70 - 1,40	1,276	-	-
2,36 - 1,18	1,315	1,443	1,694
1,18 - 1,00	1,240	-	1,619
0,850 - 0,710	1,228	-	-
1,18 - 0,600	1,248	1,339	1,607
0,600 - 0,500	1,343	-	-
0,425 - 0,355	-	-	1,476
0,355 - 0,300	-	-	1,468
0,600 - 0,300	1,183	1,215	1,503
0,250 - 0,212	1,144	-	1,444
0,212 - 0,180	1,113	-	-
0,180 - 0,150	1,123	-	-
0,300 - 0,150	1,153	1,202	1,500
0,150 - 0,125	1,121	-	-
0,125 - 0,106	1,120	-	1,419
0,150 - 0,075	1,102	1,230	1,437

Tabela 23- Massa unitária das areias.

Granulometria	Massa Unitária Média - ASTM (kg/dm ³)	
	PEDRA	DUNA
BSI 1R	1,261	1,576
ABNT 1R	1,337	1,645
BSI 2E	1,317	1,633
ASTM 1E	1,454	1,774
DTU 1E	1,453	1,821
N. 6	1,450	1,804

Na Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, a NBR 7251/82 traz os procedimentos para a determinação da massa unitária no estado solto de agregados. Este ensaio foi realizado para as areias compostas, cujos resultados podem ser verificados na Tabela 24 abaixo. Os resultados da areia de rio foram obtidos por Tristão (1995). Convém salientar que, na transformação das proporções dos materiais das argamassas de volume para massa, são utilizados estes valores de massa unitária no estado solto.

Tabela 24 - Massa unitária das areias conforme a NBR 7251/82.

Granulometria	Massa Unitária Média - ABNT (kg/dm ³)		
	PEDRA	RIO	DUNA
BSI 1R	1,302	1,401	1,623
ABNT 1R	1,404	1,565	1,692
BSI 2E	1,363	1,437	1,688
ASTM 1E	1,452	1,489	1,780
DTU 1E	1,541	1,654	1,821
N. 6	1,495	-	1,804

Foi feita a determinação do índice de vazios (I_v) das frações e das areias compostas, de acordo com a Equação 13, em que γ é a massa unitária no estado solto e δ é a massa específica. Este índice de vazios foi correlacionado com os parâmetros texturais das areias e estão apresentados no capítulo 4.

$$I_v = \left(1 - \frac{\gamma}{\delta}\right) \quad \text{(Equação 13)}$$

3.1.4 Análise de imagens

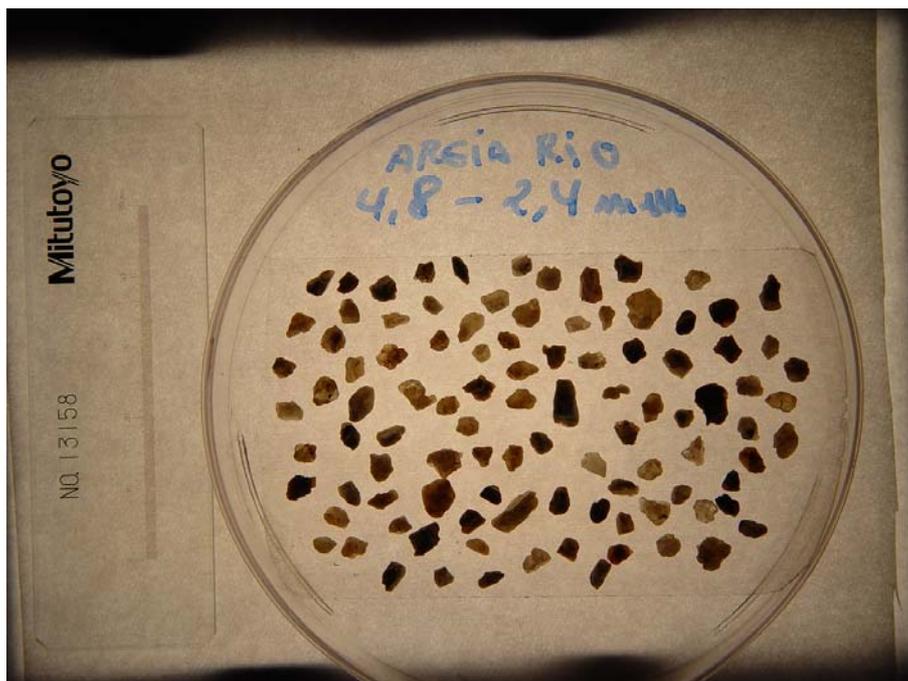
Através da técnica de análise de imagens, foram determinados os parâmetros relativos ao tamanho, que são: a área, o perímetro e os diâmetros máximos e mínimos das projeções dos grãos. A partir destes parâmetros, foram calculadas as esfericidades conforme metodologia de Carr et al. (1990), em que a esfericidade é a

relação entre o diâmetro do círculo com área igual à área da projeção do grão e o diâmetro do menor círculo circunscrito ao grão. A dimensão fractal da rugosidade foi determinada segundo Hyslip e Vallejo (1997), discutida no capítulo 2. Foram calculados também os arredondamentos e os fatores de forma, sendo que o arredondamento foi calculado com a Equação 8, isto é, a relação entre a área da projeção do grão e a área do círculo circunscrito ao grão, enquanto que o fator de forma foi calculado com a Equação 7 mostrada no capítulo 2.

Para a análise de imagem, o primeiro passo é a preparação das amostras para aquisição das imagens. Esta preparação foi realizada de duas maneiras distintas. Para as frações 4,75 – 2,36 mm; 2,36 – 1,18 mm, os grãos foram lançados de forma aleatória utilizando-se um funil, a uma altura definida de 5 cm, sobre uma superfície rígida e plana coberta com fita adesiva dupla face. Os grãos então se fixavam sobre a fita adesiva, na posição em que tocavam a fita, o que garantiu a não ocorrência de um plano preferencial de repouso dos grãos sobre a superfície e permitiu que os grãos estivessem afixados nas mais diversas posições, assegurando a aleatoriedade da sua fixação (Fotografias 1 e 2).



Fotografia 1 – Fixação dos grãos da fração 4,75 – 2,36mm da areia de pedra sobre fita adesiva.

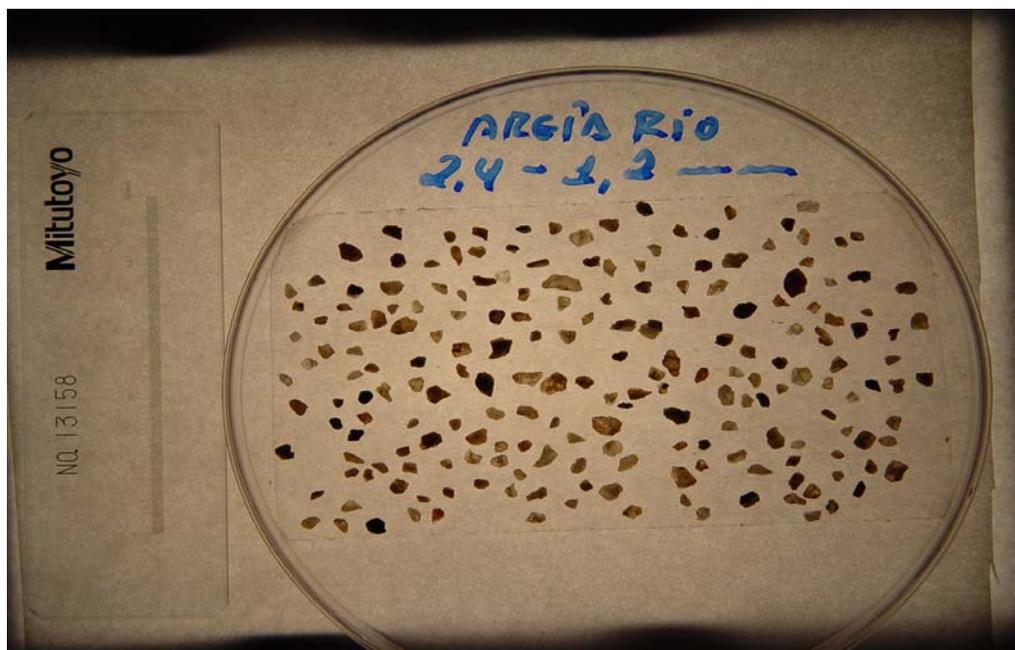


Fotografia 2 – Grãos da areia de rio na fração 4,75 – 2,36 mm.

Para as frações descritas anteriormente, as imagens foram obtidas utilizando-se uma câmera digital, marca Sony, modelo DSC 717, 5 megapixels. As amostras foram posicionadas sobre uma fonte luminosa e usou-se uma escala padrão de cristal, marca Mitutoyo, com divisão de escala de 0,01mm e incerteza de 2 μ m, para obtenção da escala da imagem (Fotografias 3 e 4). O número de grãos para cada fração foi de aproximadamente 400 grãos. Este número foi estabelecido a partir dos estudos de Persson (1998), que analisou 400 grãos para as três frações mais finas e 100 a 200 grãos para as maiores frações de areia, e concluiu, após análise estatística dos dados, que seriam necessários mais grãos para as frações mais grossas.



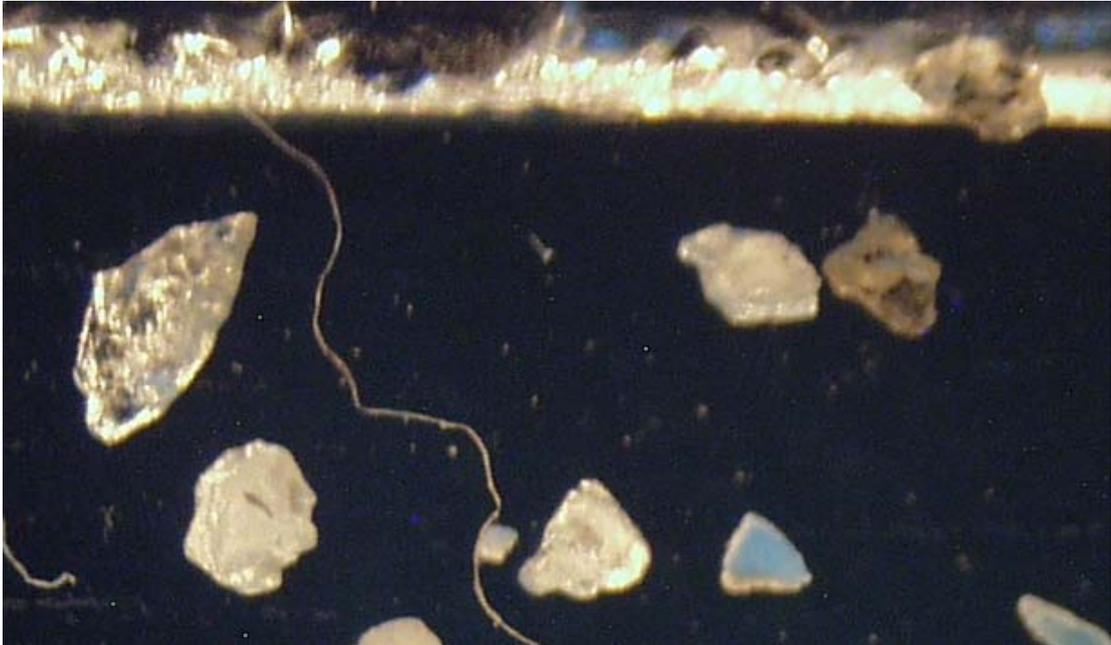
Fotografia 3 – Imagem de grãos da fração 2,36 – 1,18 mm, com detalhe da escala padrão.



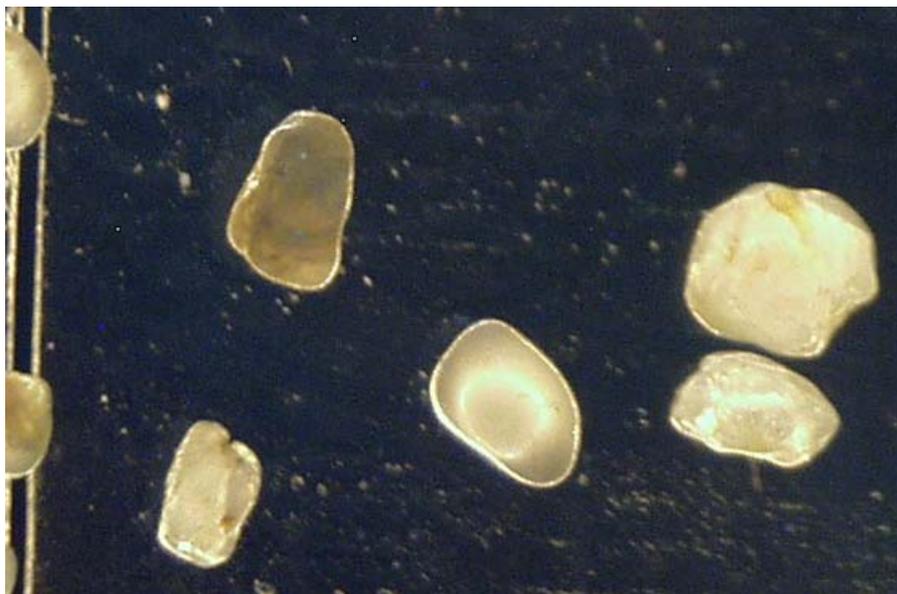
Fotografia 4 – Imagem dos grãos da areia de rio na fração 2,36 – 1,18 mm.

Para as outras frações, isto é, 1,18 – 0,600 mm; 0,600 – 0,300 mm; 0,300 – 0,150 mm; 0,150 – 0,075 mm, os grãos foram lançados do mesmo modo

anteriormente descrito, porém com altura de queda de 2 cm. Para estas frações, a fita adesiva era esticada sobre duas bases de forma a garantir uma maior transparência para melhorar o contraste do contorno dos grãos, na obtenção das imagens (Fotografias 5, 6).



Fotografia 5 – Imagem de grãos de areia de rio, fração 0,600 -0,300, com detalhe da borda da fita adesiva



Fotografia 6 – Foto de grãos da areia de duna, fração 1,18 – 0,600 mm, com detalhe da emenda da fita adesiva.

As imagens para estas frações foram obtidas utilizando-se uma lupa esteroscópica, marca Olympus, modelo DP 11, e a fonte de iluminação foi um anel de luz, que distribui a luz através de fibras ópticas dispostas na forma de um anel e focalizadamente. A lupa estava equipada com uma câmera digital e os aumentos usados variaram em função da fração, assim como a resolução, conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Aumento e resolução das imagens digitalizadas na etapa de aquisição

Fração (mm)	Aumento	Resolução (pixels)
4,75 – 2,36	-	1280 X 960
2,36 – 1,18	-	1280 X 960
1,18 – 0,600	1 X	1712 X 1368
0,600 – 0,300	15 X	1712 X 1368
0,300 – 0,150	30 X	1712 X 1368
0,150 – 0,075	50 X	1712 X 1368

Após a aquisição das imagens, foi realizada a etapa de processamento das imagens utilizando-se um software denominado “IMAGO 2.1”, desenvolvido no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC e com a empresa ESSS (*Engineering Simulation and Scientific Software*).

No capítulo 4 apresentam-se as médias dos valores de área, perímetro e maior dimensão obtidos com o software descrito anteriormente. Também são calculadas as rugosidades, arredondamento, fator de forma e esfericidade dos grãos das frações das areias. As médias foram obtidas em número variável de grãos, em função da quantidade de imagens para cada fração, como pode ser visualizado no Quadro 9.

Quadro 9 – Número de grãos avaliados para cada fração.

Areia	Fração (mm)	Número de grãos
Pedra	4,75 – 2,36	374
	2,36 – 1,18	401
	1,18 – 0,600	267
	0,600 – 0,300	550
	0,300 – 0,150	602
	0,150 – 0,075	902
Rio	4,75 – 2,36	353
	2,36 – 1,18	339
	1,18 – 0,600	256
	0,600 – 0,300	566
	0,300 – 0,150	965
	0,150 – 0,075	395
Duna	4,75 – 2,36	394
	2,36 – 1,18	239
	1,18 – 0,600	321
	0,600 – 0,300	421
	0,300 – 0,150	1527
	0,150 – 0,075	397

Na determinação da área específica para cada fração, utilizou-se a metodologia descrita por Carr et al. (1992) e analisada no capítulo 2, onde os autores desenvolveram as Equações 9, 10 e 11 em virtude de formas específicas de grãos.

Com os valores das áreas específicas de cada fração, obtidos por meio da análise de imagens, foi calculada a área específica da areia total, a partir da porcentagem retida de cada fração que compõe a areia, através da Equação 14.

$$A_m = A_1 \times r_1 + A_2 \times r_2 + A_3 \times r_3 + \dots + A_n \times r_n \quad (\text{Equação 14})$$

em que: A_m – área específica da areia composta;

A_n – área específica da fração n ;

r_n - porcentagem retida na fração n .

A área específica das frações das areias abaixo da peneira ABNT 0,075 mm, do cimento Portland composto CP II Z 32 e da cal CH III, foi determinada a partir do permeabilímetro Blaine, de acordo com a NBR – NM – 76/98.

3.2 AGLOMERANTES

Foram utilizados na pesquisa o cimento Portland composto CP II - Z 32 e cal hidratada CH III, cujas principais características estão abaixo descritas. A escolha destes aglomerantes se deve ao fato de terem sido usados por Tristão (1995), e os resultados daquela pesquisa foram avaliados neste trabalho, referentes aos aspectos texturais da areia de rio utilizada pelo autor.

Os aglomerantes foram caracterizados quanto às suas propriedades especificadas nas suas respectivas normas e informadas pelos fabricantes, com seus resultados exibidos nas Tabelas 25 e 26. A determinação da massa unitária no estado solto dos aglomerantes foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC, adotando-se o procedimento descrito na NBR 7251/82, utilizando-se o recipiente paralelepípedo com volume de aproximadamente 15 litros.

Tabela 25 – Caracterização física e química do cimento CP II-Z 32

Caracterização física	Massa unitária (kg/ dm ³)	1,032	
	Massa específica (kg/ dm ³)	2,966	
	Área específica Blaine (NBR 7224/84) (m ² / kg)	389	
	Finura - resíduo na peneira #200 (%)	1,71	
	Finura - resíduo na peneira #325 (%)	10,87	
	Água de consistência (%)	28,79	
	Tempo de pega (NBR 11581/91)	Início (min)	178
		Fim (min)	287
	Expansibilidade a quente (NBR 11582/91) (mm)	0,14	
	Resistência à compressão (NBR 7215/91)	3 dias (MPa)	23,99
7 dias (MPa)		28,87	
28 dias (MPa)		37,34	
Caracterização química (%)	Perda ao fogo	5,17	
	Resíduo insolúvel	11,94	
	Al ₂ O ₃	7,07	
	SiO ₂	22,29	
	Fe ₂ O ₃	3,08	
	CaO	52,48	
	MgO	5,58	
	K ₂ O	1,11	
	Na ₂ O	0,19	
	SO ₃	3,25	
	CO ₂	4,13	

Tabela 26– Caracterização física e química da cal hidratada CH - III

Caracterização química (%)	Perda ao fogo	22,3
	Resíduo insolúvel	8,6
	Óxido de cálcio	42,0
	Óxido de magnésio	27,6
	Na base do material original – óxidos não hidratados	11,3
	Na base de não voláteis – óxidos totais	89,6
Caracterização física	Massa unitária (kg/ dm ³)	0,692
	Massa específica (kg/ dm ³)	2,510
	Finura (% retida) – peneira # 30 (0,600 mm)	0,2
	Finura (% retida) – peneira # 200 (0,075 mm)	9,1
	Capacidade de incorporação de areia (cal:areia)	1:2,25
	Área específica Blaine (NBR 7224/84) (m ² /kg)	1.317

3.3 PROPORCIONAMENTO DAS ARGAMASSAS

No trabalho experimental, foram produzidas vinte e oito argamassas, sendo que a primeira argamassa serviu para avaliação e adaptação dos métodos de ensaios, das quantidades de materiais e tempo necessárias para a realização dos ensaios. As argamassas analisadas foram produzidas a partir das composições em volume (areia seca) 1:1:6 e 1:2:9. Também foram produzidas as argamassas de número 3, 6 e 9 com as mesmas proporções de cimento e cal em massa usadas por Tristão (1995), com intuito de se avaliar as variações nas propriedades de argamassas com mesmas proporções em massa, mas utilizando-se areia de duna, ao invés da areia de rio.

Nos Quadros 10 e 11, identificam-se as argamassas estudadas, com indicação da granulometria usada e a procedência da areia.

Quadro 10 – Identificação das argamassas.

Argamassa	Granulometria / Areia	Proporção (cimento: cal: areia: a/c)	
		Volume	Massa
0	Imbituba / Duna	1 : 1 : 6	1 : 0,644 : 8,484: 2,196
1	BSI 1R / Pedra	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 7,570: 2,397
2	BSI 1R / Duna	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 9,436: 1,918
3	BSI 1R / Duna	1 : 0,96 : 4,567	1 : 0,644 : 7,183: 1,580
33A	BSI 1R / Rio	1 : 1 : 6	1 : 0,644 : 7,183: 2,095
4	ABNT 1R / Pedra	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 8,163: 2,584
5	ABNT 1R / Duna	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 9,837: 2,033
6	ABNT 1R / Duna	1 : 0,96 : 4,895	1 : 0,644 : 8,026: 1,511
34A	ABNT 1R / Rio	1 : 1 : 6	1 : 0,644 : 8,026: 2,131
7	BSI 2E / Pedra	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 7,924: 2,351
8	BSI 2E / Duna	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 9,814: 1,793
9	BSI 2E / Duna	1 : 0,96 : 4,205	1 : 0,644 : 6,878: 1,342
3A	BSI 2E / Rio	1 : 1 : 6	1 : 0,644 : 7,384: 1,856
10	ASTM 1E / Pedra	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 8,442: 1,984
11	ASTM 1E / Duna	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 10,349: 1,611
4A	ASTM 1E / Rio	1 : 1 : 6	1 : 0,644 : 7,636: 1,902
12	DTU 1E / Pedra	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 8,9599: 2,303
13	DTU 1E / Duna	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 10,587: 1,529
5A	DTU 1E / Rio	1 : 1 : 6	1 : 0,644 : 8,484: 1,782
14	N6 / Pedra	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 8,692: 2,036
15	N6 / Duna	1 : 1 : 6	1 : 0,671 : 10,488: 1,488

Quadro 11 – Identificação das argamassas com proporção em volume 1 : 2 : 9.

Argamassa	Granulometria / Areia	Proporção (cimento: cal: areia: a/c)	
		Volume	Massa
18	BSI 1R / Pedra	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 11,355 : 3,739
19	BSI 1R / Duna	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 14,154 : 2,821
20	ABNT 1R / Pedra	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 12,244 : 4,092
21	ABNT 1R / Duna	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 14,756 : 3,059
22	BSI 2E / Pedra	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 11,887 : 3,965
23	BSI 2E / Duna	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 14,721 : 3,007
2B	BSI 2E / Rio	1 : 2 : 9	1 : 1,287 : 11,057 : 3,314
25	ASTM 1E / Pedra	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 12,663 : 3,402
26	ASTM 1E / Duna	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 15,523 : 2,755
4B	ASTM 1E / Rio	1 : 2 : 9	1 : 1,287 : 11,452 : 2,811
27	DTU 1E / Pedra	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 13,439 : 3,707
28	DTU 1E / Duna	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 15,881 : 2,702
5B	DTU 1E / Rio	1 : 2 : 9	1 : 1,287 : 12,727 : 2,782
29	N6 / Pedra	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 13,038 : 3,488
30	N6 / Duna	1 : 2 : 9	1 : 1,341 : 15,733 : 2,904

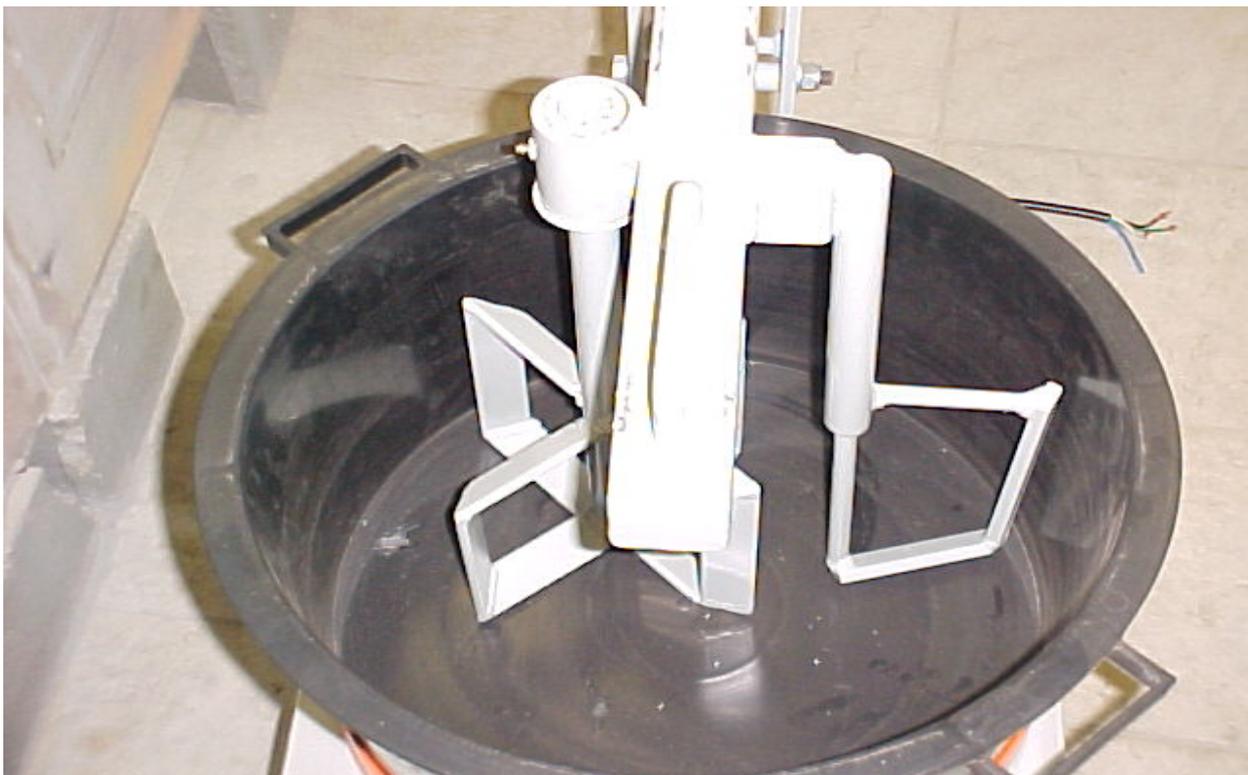
A partir das proporções em volume, com as massas unitárias no estado solto dos materiais, converteram-se as argamassas para proporções em massa. O conteúdo de água das argamassas foi obtido quando a argamassa apresentava um índice de consistência de 265 ± 15 mm, medido na mesa consistência, conforme metodologia da NBR 13276/95.

3.4 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas foram produzidas no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, em misturador de eixo vertical, com capacidade de mistura de 30 litros, mostrado nas Fotografias 7 e 8.



Fotografia 7 – Misturador de eixo vertical para produção das argamassas.



Fotografia 8 – Detalhe da haste do misturador de eixo vertical para produção das argamassas.

Inicialmente faz-se a composição das frações das areias para uma massa de 30 kg de areia composta. Em seguida, mistura-se esta areia com a cal hidratada e água durante 5 minutos, obedecendo aos proporcionamentos descritos nos Quadros 10 e 11. A quantidade inicial de água adicionada foi de uma vez e meia a massa da cal hidratada. Esta argamassa de cal permaneceu na cuba do misturador por 24 horas, com a cuba hermeticamente fechada para evitar a evaporação da água de amassamento. Este procedimento foi adotado para favorecer a hidratação de óxidos ainda não hidratados.

Após este período, misturou-se a argamassa de cal por mais 2 minutos, acrescentou-se o cimento e novamente promoveu-se a mistura por mais 3 minutos. Adicionava-se ou não mais água nos dois primeiros minutos para obter argamassa com índice de consistência no intervalo de (265 ± 15) mm. Após a preparação da argamassa, procedia-se à realização dos ensaios no estado fresco e a moldagem dos corpos-de-prova para ensaios no estado endurecido.

3.5 MÉTODOS DE ENSAIO

Foram adotados métodos de ensaio que avaliem as propriedades das argamassas de revestimento, com procedimentos normalizados, sendo que, no estado fresco, foi avaliada a consistência, retenção de consistência, plasticidade, retenção de água, massa específica, exsudação de água, conteúdo de ar incorporado e retração. No Quadro 12, apresenta-se a relação destes ensaios, com a identificação dos procedimentos adotados.

Quadro 12 – Métodos de ensaio no estado fresco

Propriedades	Método de ensaio
Consistência	NBR 13276/95
Retenção de consistência	NBR 9287/86
Plasticidade	NBR 9206/03*
Retenção de água	NBR 13277/95
Exsudação de água	MR – 6 (RILEM)
Massa específica aparente	NBR 13278/95
Teor de ar incorporado	NBR 13278/95
Retração	**

* Adaptada do método de determinação da plasticidade de cal hidratada para argamassas.

** A retração plástica da argamassa aplicada sobre base não absorvente foi determinada conforme procedimento apresentado por Bastos (2001), com espessura de 20 mm.

A plasticidade das argamassas foi avaliada usando o plastômetro de Voss, que foi concebido para medir a capacidade de incorporação de areia padrão em uma cal hidratada sem prejudicar as características de trabalhabilidade da mistura, conforme NBR 9207/85. Neste ensaio, acrescentam-se teores de areia a uma porção de cal e no equipamento denominado “plastômetro de Voss”, verifica-se a altura de argamassa não extrudada, quando submetida a uma pressão de 0,414 MPa. Faz-se sempre o ensaio com argamassa na consistência de (210 ± 5) mm e o resultado do ensaio é apresentado na forma de proporção (em massa) da areia em relação à cal,

cuja altura de argamassa extrudada foi inferior a 3,7 cm. Fez-se uma adaptação no sentido de medir a altura de argamassa não extrudada, com argamassa mista de cimento Portland e cal hidratada, com as areias que são objeto deste estudo e com consistência de (265 ± 15) mm.

Merecem comentário as quantidades de materiais especificadas no ensaio, pois o método de ensaio foi adaptado da norma da ASTM C – 110 e da ASTM C – 230. A consistência, definida no ensaio original é de 100 a 110%, mas medida com a mesa de consistência definida na ASTM C -230, que apresenta dimensões do molde menores do que a norma brasileira NBR 13276. Esta diferença nos moldes ocasiona um aumento na quantidade de argamassa necessária para a realização do ensaio. No entanto, o procedimento definido pela NBR 9207 especifica que a quantidade de cal para o ensaio é de 250 g e o acréscimo de areia padrão deve ser na proporção de areia / cal em massa igual a 0,25, como o proposto na norma da ASTM. Esta quantidade especificada é insuficiente para preencher o molde para determinação da consistência das argamassas usando o molde da ABNT e, portanto, deve ser revista a quantidade inicial de cal para a realização do ensaio. Sugere-se que esta quantidade de cal seja fixada em 400 g, sugestão esta baseada em diversos ensaios realizados em laboratório.

A retração plástica das argamassas foi medida em corpos-de-prova de (400X150)mm e com 20 mm de espessura, durante as primeiras 24 horas após a moldagem. Para cada argamassa foi preparado um corpo-de-prova, armazenado em sala climatizada, com temperatura variando de 15 à 25 °C e umidade relativa do ar variando de 55 à 75%.

As propriedades avaliadas no estado endurecido foram a absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade, massa específica aparente, índice de vazios, resistência mecânica quanto à compressão e tração na flexão, exibidos no Quadro 13 junto com os procedimentos adotados.

Quadro 13- Ensaio no estado endurecido

Propriedades	Método de ensaio
Absorção de água por imersão	NBR 9778/87
Absorção de água por capilaridade	NBR 9779/87*
Massa específica aparente	NBR 9778/87
Índice de vazios	NBR 9778/87
Resistência à compressão	NBR 13279/95
Resistência à tração na flexão	BS EN 196 -1 / 1995

* Adaptado do método de absorção de água por capilaridade de argamassas e concreto, conforme procedimento apresentado por Tristão e Roman(1997).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no programa experimental estão apresentados em forma de tabelas e gráficos, sempre que possível com os resultados médios, e a análise destes resultados está baseada em avaliações estatísticas. Inicialmente são apresentados os resultados da caracterização morfológica das areias e, a seguir, os resultados nas argamassas no estado fresco e no estado endurecido.

4.1. CARACTERÍSTICAS DAS FRAÇÕES DAS AREIAS

Inicialmente são apresentados os resultados obtidos nas frações das areias através das análises das imagens que são descritos nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27– Resultados médios das áreas e perímetros das projeções dos grãos das frações das areias.

Fração (mm)	Área (mm ²)			Perímetro (mm)		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
4,75 – 2,36	11,3653	9,0839	8,2396	13,9718	11,9767	11,3086
2,36 – 1,18	4,0535	2,9893	2,4353	8,2290	6,7841	6,0319
1,18 – 0,600	0,8873	1,0291	0,8336	3,9706	4,1460	3,5839
0,600 – 0,300	0,2358	0,2675	0,1496	2,0302	2,1142	1,5376
0,300 – 0,150	0,0588	0,0721	0,0401	1,0191	1,0890	0,7818
0,150 – 0,075	0,01377	0,0155	0,0237	0,4859	0,5070	0,6115

Tabela 28– Resultados médios das dimensões máximas e dos diâmetros equivalentes de área das projeções dos grãos das frações das areias.

Fração (mm)	Dimensão máxima (mm)			Diâmetro equivalente de área (mm)		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
4,75 – 2,36	4,9156	4,1085	3,8240	3,7468	3,3622	3,2390
2,36 – 1,18	2,9513	2,3416	2,0820	2,2150	1,9087	1,7383
1,18 – 0,600	1,4049	1,4243	1,2342	1,0397	1,1189	1,0170
0,600 – 0,300	0,7240	0,7323	0,5216	0,5371	0,5727	0,4331
0,300 – 0,150	0,3646	0,3765	0,2641	0,2681	0,2973	0,2235
0,150 – 0,075	0,1718	0,1739	0,2079	0,1303	0,1387	0,1726

As frações da areia de duna sempre apresentaram áreas, perímetros e dimensões máximas menores do que as frações das areias de rio e de pedra, exceção para a fração mais fina analisada. Estes resultados estão coerentes com a morfoscopia, que indicou grãos de duna com maior arredondamento. Observa-se, também, que as areias de pedra e de rio apresentaram dimensões máximas maiores do que a abertura de malha da peneira superior da fração, exceção para as frações 4,75 – 2,36 mm e 2,36 – 1,18 mm da areia de rio.

Desta análise extrai-se que o ensaio de peneiramento não é suficiente para o detalhamento das dimensões dos grãos, pois, tanto para a areia de pedra quanto para a areia de rio, a dimensão máxima das projeções foram maiores do que as aberturas das malhas das peneiras superiores das frações. Estes resultados estão coerentes com as considerações de Ferlund (1998), Kwan et al. (1999).

Para verificar as diferenças entre as médias das variáveis das frações das areias analisadas, foram realizadas análises de variância (ANOVA), apresentadas nas Tabelas 29 a 31, cujos resultados ressaltam que há diferença significativa entre pelo menos duas médias quando se considera os fatores fração e procedência (areia rio, pedra ou duna) e a sua interação, uma vez que a probabilidade p de os resultados serem iguais é menor do que 0,05.

Tabela 29– Análise de variância (ANOVA) das médias da variável área, em mm².

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	5972,04	1	5972,036	4789,259	0,0000
Procedência	382,63	2	191,317	153,426	0,0000
Fração	10297,68	5	2059,536	1651,640	0,0000
Procedência*Fração	1088,48	10	108,848	87,290	0,0000
Error	10760,06	8629	1,247		

Tabela 30– Análise de variância (ANOVA) das médias da variável perímetro, em mm.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	21979,13	1	21979,13	27474,61	0,0000
Procedência	396,73	2	198,36	247,96	0,0000
Fração	35080,40	5	7016,08	8770,32	0,0000
Procedência*Fração	1213,46	10	121,35	151,69	0,0000
Error	6903,03	8629	0,80		

Tabela 31– Análise de variância (ANOVA) das médias da variável dimensão máxima, em mm.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2646,660	1	2646,660	22108,07	0,0000
Procedência	75,768	2	37,884	316,45	0,0000
Fração	4290,824	5	858,165	7168,42	0,0000
Procedência*Fração	188,031	10	18,803	157,07	0,0000
Error	1033,018	8629	0,120		

A partir da área, perímetro e dimensão máxima das projeções dos grãos, foram calculados os parâmetros texturais dos grãos que são o arredondamento, fator de forma, esfericidade, a dimensão fractal da rugosidade e as áreas específicas das frações.

4.1.1 Arredondamento, fator de forma e esfericidade

O arredondamento foi calculado a partir da Equação 8, onde S é a área da projeção da partícula e $d_{máx}$ é o diâmetro máximo de Feret, obtidos nas imagens dos grãos, estando os resultados apresentados na Tabela 32.

$$A_r = \frac{4S}{\pi(d_{máx})^2} \quad (\text{Equação 8})$$

Tabela 32– Arredondamento das frações das areias.

Fração (mm)	Arredondamento		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
4,75 – 2,36	0,6039	0,6833	0,7174
2,36 – 1,18	0,5919	0,6825	0,7148
1,18 - 0,600	0,5676	0,6362	0,6932
0,600 – 0,300	0,5738	0,6317	0,7030
0,300 – 0,150	0,5667	0,6461	0,7275
0,150 – 0,075	0,5983	0,6493	0,7021

Confirmando os resultados da morfoscopia, a areia de duna foi a que apresentou o maior arredondamento e a areia de pedra o menor arredondamento. Na Figura 9 apresenta-se a variação do arredondamento com o tipo de areia e a fração, onde se observa claramente a diferença entre os diversos tipos de areias analisadas e para cada fração.

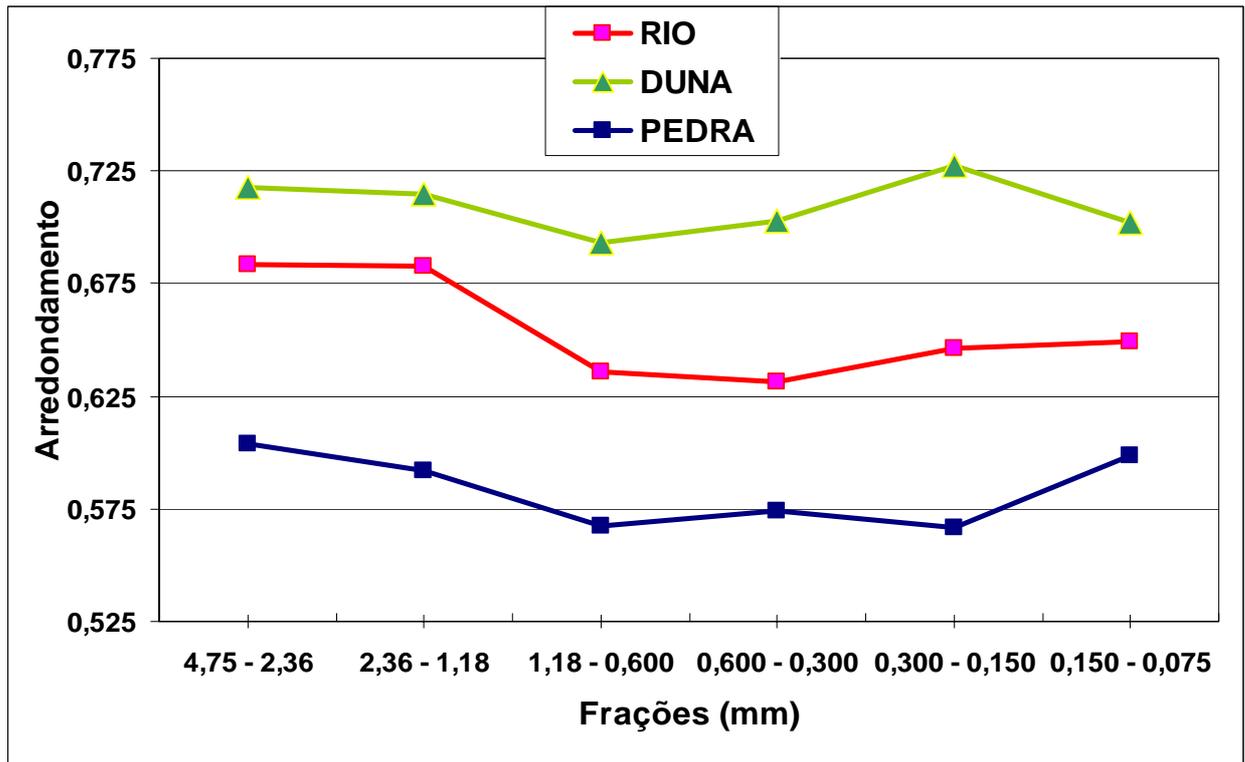


Figura 9 – Variação do arredondamento dos grãos das frações das areias.

Fez-se uma análise comparativa múltipla de médias para verificar se existe diferença significativa entre os valores médios da variável arredondamento, utilizando-se o teste de Tukey, apresentado na Tabela 33. A mesma letra, disposta nas colunas, significa que não existe diferença estatística entre as frações. Os resultados obtidos permitem concluir que o arredondamento médio dos grãos da areia de pedra, nas frações 2,36 – 1,18 mm, 1,18 – 0600 mm, 0,600 – 0,300 mm, 0,300 -0,150 mm não diferem estatisticamente. Para a areia de rio, as frações 1,18 – 0600 mm, 0,600 – 0,300 mm, 0,300 -0,150 mm e 0,150 – 0,075 mm não diferem estatisticamente. As frações 4,75 – 2,36 mm, 2,36 – 1,18 mm, 1,18 – 0600 mm, 0,600 – 0,300 mm, 0,150 – 0,075 mm da areia de duna, não diferem estatisticamente. Se todas as frações de uma areia não diferissem estatisticamente, poderíamos estabelecer que a areia de pedra proveniente do britamento de granito, com britador de mandíbula, apresenta um arredondamento menor do que 0,60, enquanto que para a areia de rio, o arredondamento pode variar no intervalo 0,60 – 0,70, e para areia de duna, o arredondamento seria maior do que 0,70.

Tabela 33– Teste Tukey das médias da variável arredondamento.
(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,01404, df = 8629,0)

	Areia	Fração (mm)	Arredondamento	1	2	3	4	5	6
5	Pedra	0,300 – 0,150	0,566705	f					
3	Pedra	1,18 – 0,600	0,567571	f					
4	Pedra	0,600 – 0,300	0,573818	f					
2	Pedra	2,36 – 1,18	0,591852	f	e				
6	Pedra	0,150 – 0,075	0,598289		e				
1	Pedra	4,75 – 2,36	0,603873		e	d			
10	Rio	0,600 – 0,300	0,631661			d	c		
9	Rio	1,18 – 0,600	0,636221			d	c		
11	Rio	0,300 – 0,150	0,646127				c		
12	Rio	0,150 – 0,075	0,649290				c		
8	Rio	2,36 – 1,18	0,682476					b	
7	Rio	4,75 – 2,36	0,683349					b	
15	Duna	1,18 – 0,600	0,693238					b	
18	Duna	0,150 – 0,075	0,702148					b	
16	Duna	0,600 – 0,300	0,702998					b	
14	Duna	2,36 – 1,18	0,714782					b	a
13	Duna	4,75 – 2,36	0,718572	f	e	d	c	b	a
17	Duna	0,300 – 0,150	0,727473						a

Os fatores de forma dos grãos das frações das areias, calculados a partir da equação 7, estão apresentados na Tabela 34 e na Figura 10.

Tabela 34– Resultados médios do Fator de forma das frações das areias.

Fração (mm)	Fator de forma		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
4,75 – 2,36	0,7167	0,7809	0,8097
2,36 – 1,18	0,7261	0,7862	0,8228
1,18 – 0,600	0,6824	0,7251	0,7979
0,600 – 0,300	0,6983	0,7298	0,7863
0,300 – 0,150	0,6927	0,7446	0,8092
0,150 – 0,075	0,7173	0,7427	0,7892

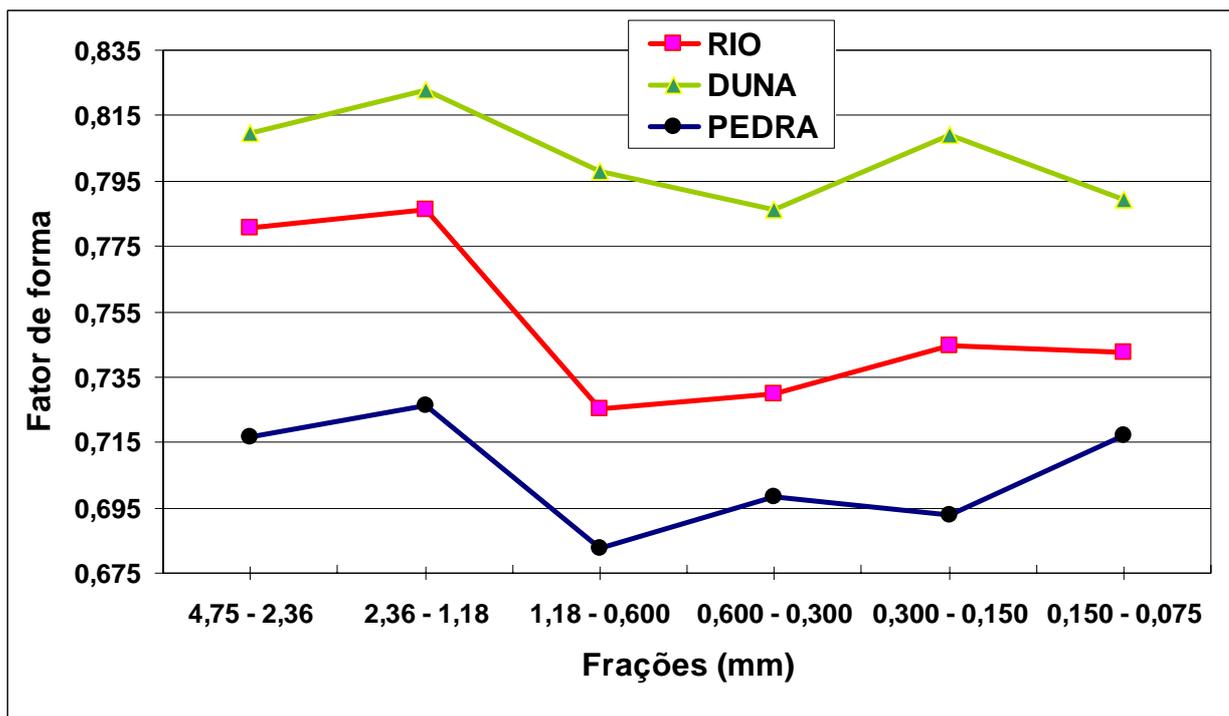


Figura 10 – Variação do fator de forma dos grãos das frações das areias.

Observa-se, nos resultados obtidos, que as frações da areia de duna apresentaram os maiores fatores de forma, enquanto que a areia de pedra apresentou os menores. Isto significa que as projeções dos grãos de duna são mais circulares do que a areia de rio e estes, por sua vez, mais circulares do que areia de pedra, constatação esta que irá se refletir também na análise da esfericidade dos grãos das areias, a seguir descrita.

Fez-se o teste estatístico de Tukey para avaliar a variação entre as médias dos fatores de forma das frações, cujos resultados, apresentados na Tabela 35, nos permitem concluir que, para areia de pedra, as frações 1,18 – 0,600 mm, 0,600 – 0,300 mm e 0,300 – 0,150 mm não diferem estatisticamente. Para a areia de rio, as frações 4,75 – 2,36 mm e 2,36 – 1,18 mm também não apresentam diferenças estatísticas entre as médias, enquanto que, para areia de duna, as frações 1,18 – 0,600 mm, 0,600 – 0,300 mm e 0,150 – 0,075 mm não diferem estatisticamente.

Tabela 35– Teste Tukey das médias da variável fator de forma.
(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00443, df = 8629,0)

	Areia	Fração	Fator de forma	1	2	3	4	5	6	7	8
3	Pedra	1,18 – 0,600	0,682355	h							
5	Pedra	0,300 – 0,150	0,692734	h							
4	Pedra	0,600 – 0,300	0,698279	h						b	
1	Pedra	4,75 – 2,36	0,716651		G						
6	Pedra	0,150 – 0,075	0,717299		G						
9	Rio	1,18 – 0,600	0,725125		G	f					
2	Pedra	2,36 – 1,18	0,726105		G	f					
10	Rio	0,600 – 0,300	0,729779		G	f					
12	Rio	0,150 – 0,075	0,742675			f	e				
11	Rio	0,300 – 0,150	0,744559				e				
7	Rio	4,75 – 2,36	0,780873					d			
8	Rio	2,36 – 1,18	0,786240					d			
16	Duna	0,600 – 0,300	0,786308					d			
18	Duna	0,150 – 0,075	0,789180					d			
15	Duna	1,18 – 0,600	0,797879					d	c		
17	Duna	0,300 – 0,150	0,809219						c		a
13	Duna	4,75 – 2,36	0,814735		g	f	e	d	c	b	a
14	Duna	2,36 – 1,18	0,822844								a

A partir da definição de esfericidade apresentada por Carr et al. (1990) como sendo a relação entre o diâmetro do círculo com área igual à área da projeção da partícula e o diâmetro do menor círculo circunscrito na partícula, são apresentados na Tabela 36 os resultados médios da esfericidade dos grãos das frações das areias e, na Figura 11, a variação da esfericidade com a fração das areias. O diâmetro do menor círculo circunscrito na partícula é o diâmetro máximo de Feret.

Tabela 36– Resultados médios da esfericidade das frações das areias.

Fração (mm)	Esfericidade		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
4,75 – 2,36	0,7719	0,8239	0,8470
2,36 – 1,18	0,7633	0,8228	0,8424
1,18 – 0,600	0,7484	0,7944	0,8300
0,600 – 0,300	0,7524	0,7907	0,8355
0,300 – 0,150	0,7472	0,8003	0,8509
0,150 – 0,075	0,7685	0,8029	0,8359

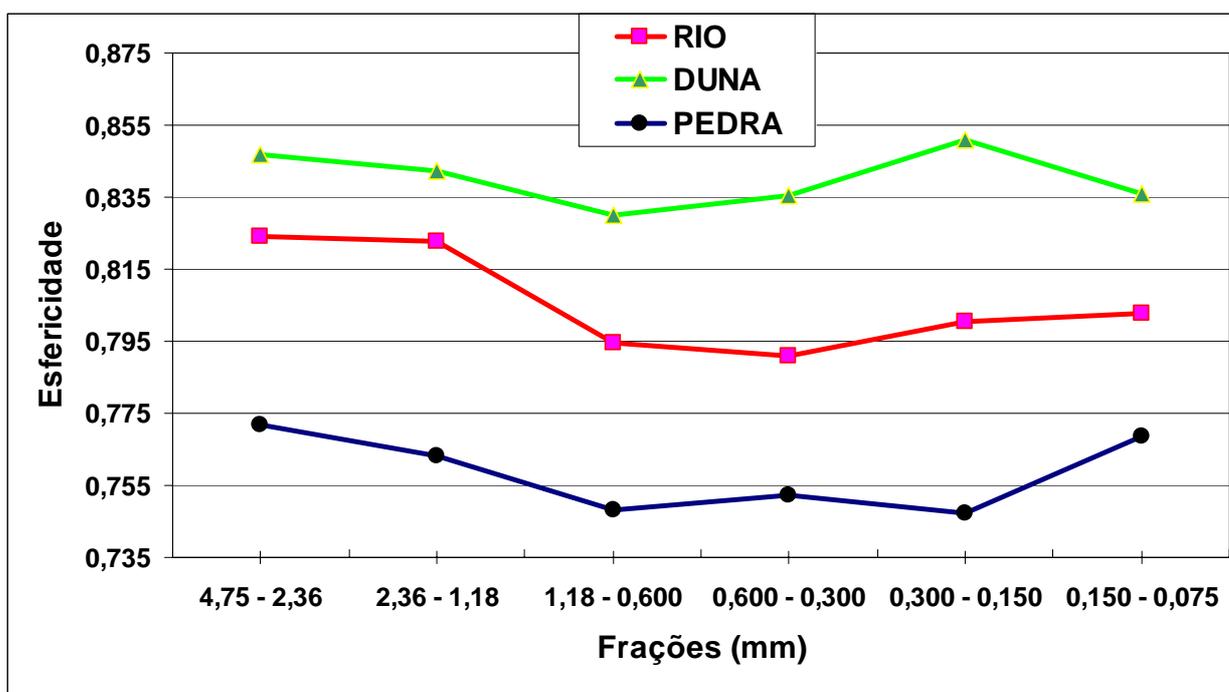


Figura 11 – Variação da esfericidade nas frações das areias.

Se for atribuído que grãos esféricos apresentam esfericidades próximas de 1, teremos que a areia de duna apresenta grãos mais esféricos do que areia de pedra, corroborando os resultados da análise morfoscópica das frações.

Também para esta característica, fez-se o teste de Tukey de análise múltipla de médias, apresentado na Tabela 37. Extraí-se desta análise que, para areia de pedra, as frações 2,36 – 1,18 mm, 1,18 – 0600 mm, 0,600 – 0,300 mm, 0,300 –

0,150 mm não diferem estatisticamente. Para a areia de rio, as frações 1,18 – 0600 mm, 0,600 – 0,300 mm, 0,300 – 0,150 mm e 0,150 – 0,075 mm não diferem estatisticamente. As frações 4,75 – 2,36 mm, 2,36 – 1,18 mm, 1,18 – 0600 mm, 0,600 – 0,300 mm, 0,150 – 0,075 mm da areia de duna não diferem estatisticamente. Se as médias das frações para cada tipo de areia fossem estatisticamente iguais, poder-se-ia classificar as frações das areias de pedra com esfericidade menor do que 0,78, as areias de rio com esfericidade no intervalo 0,78 a 0,83, e areia de duna com esfericidade maior do que 0,83. Araújo (2001) obteve, para areia de rio, uma esfericidade média de 0,786, que se encontra no intervalo considerado neste trabalho.

Tabela 37– Teste Tukey das médias da variável esfericidade.
(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00588, df = 8629,0)

	Areia	Fração	Esfericidade	1	2	3	4	5	6
5	Pedra	0,300 – 0,150	0,747178	f					
3	Pedra	1,18 – 0,600	0,748431	f					
4	Pedra	0,600 – 0,300	0,752406	f					
2	Pedra	2,36 – 1,18	0,763294	f	e				
6	Pedra	0,150 – 0,075	0,768483		e				
1	Pedra	4,75 – 2,36	0,771869		e				
10	Rio	0,600 – 0,300	0,790669			d			
9	Rio	1,18 – 0,600	0,794377			d			
11	Rio	0,300 – 0,150	0,800269			d			
12	Rio	0,150 – 0,075	0,802884			d	c		
8	Rio	2,36 – 1,18	0,822766				c	b	
7	Rio	4,75 – 2,36	0,823892					b	
15	Duna	1,18 – 0,600	0,830029					b	
16	Duna	0,600 – 0,300	0,835510					b	
18	Duna	0,150 – 0,075	0,835885					b	a
14	Duna	2,36 – 1,18	0,842419					b	a
13	Duna	4,75 – 2,36	0,847332	f	e	d	c	b	a
17	Duna	0,300 – 0,150	0,850931						a

A influência da esfericidade dos grãos no empacotamento de partículas foi avaliada por Yu e Standish (1993). Os autores concluíram que, geralmente, desvios na forma esférica dos grãos tendem a diminuir o empacotamento de misturas monodispersas. Esta mesma conclusão é apresentada por Pileggi (2001). No intuito

de avaliar esta influência, calculou-se o índice de vazios das frações das areias, a partir dos resultados obtidos para a massa unitária no estado solto e da massa específica, apresentados no Capítulo 3. Observa-se que as massas unitárias utilizadas nos cálculos foram determinadas conforme procedimento da ASTM C 1252 – 93.

Quando se correlacionou o resultado das esfericidades das frações analisadas neste trabalho com os índices de vazios obtidos, conforme apresentado nas Figuras 12 e 13, percebe-se que o índice de vazios aumenta quando diminui a esfericidade o que vem a confirmar as conclusões dos autores citados acima, mesmo para misturas que apresentam mais de uma dimensão de grãos. Considera-se que as frações analisadas não são monodispersas, tendo em vista as suas distribuições granulométricas apresentadas na Tabela 1 do Capítulo 3, mas salienta-se a uniformidade dos grãos das frações.

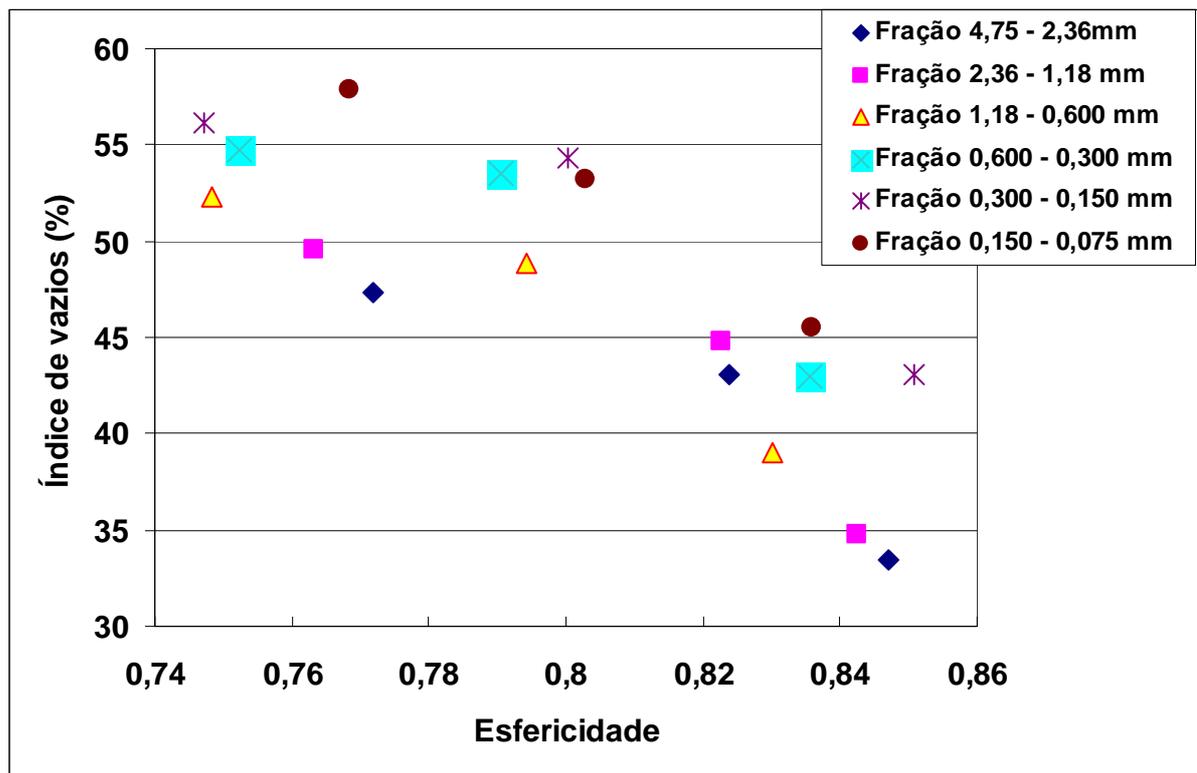


Figura 12 – Influência da esfericidade no índice de vazios das frações das areias.

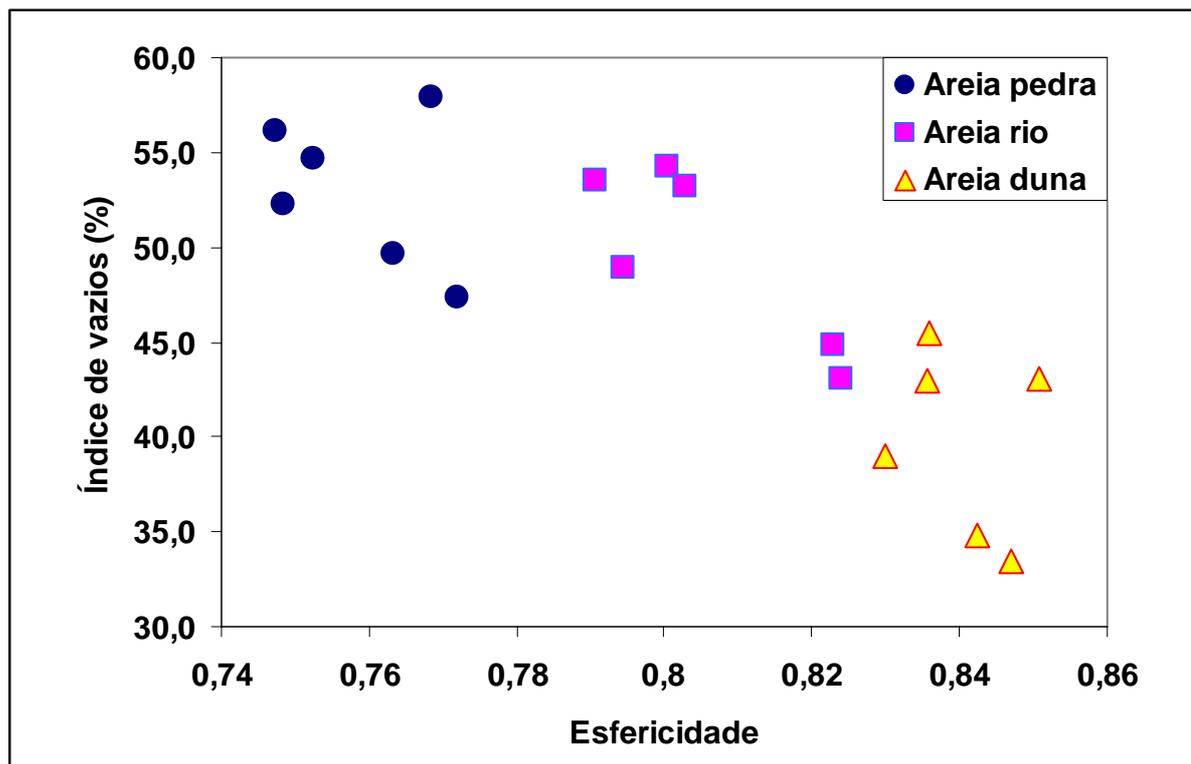


Figura 13 – Influência da esfericidade no índice de vazios das frações por tipo de areia.

Na figura 14 apresenta-se a variação do índice de vazios das frações para cada tipo de areia onde se pode observar que, quanto menor a fração, pior o empacotamento das partículas, claramente indicando que os tamanhos das partículas interferem na compactação. Nesta figura, percebe-se não só a influência da fração, mas principalmente a influência da forma dos grãos das areias, onde frações mais grossas, mais arredondadas e mais esféricas apresentam os menores índices de vazios.

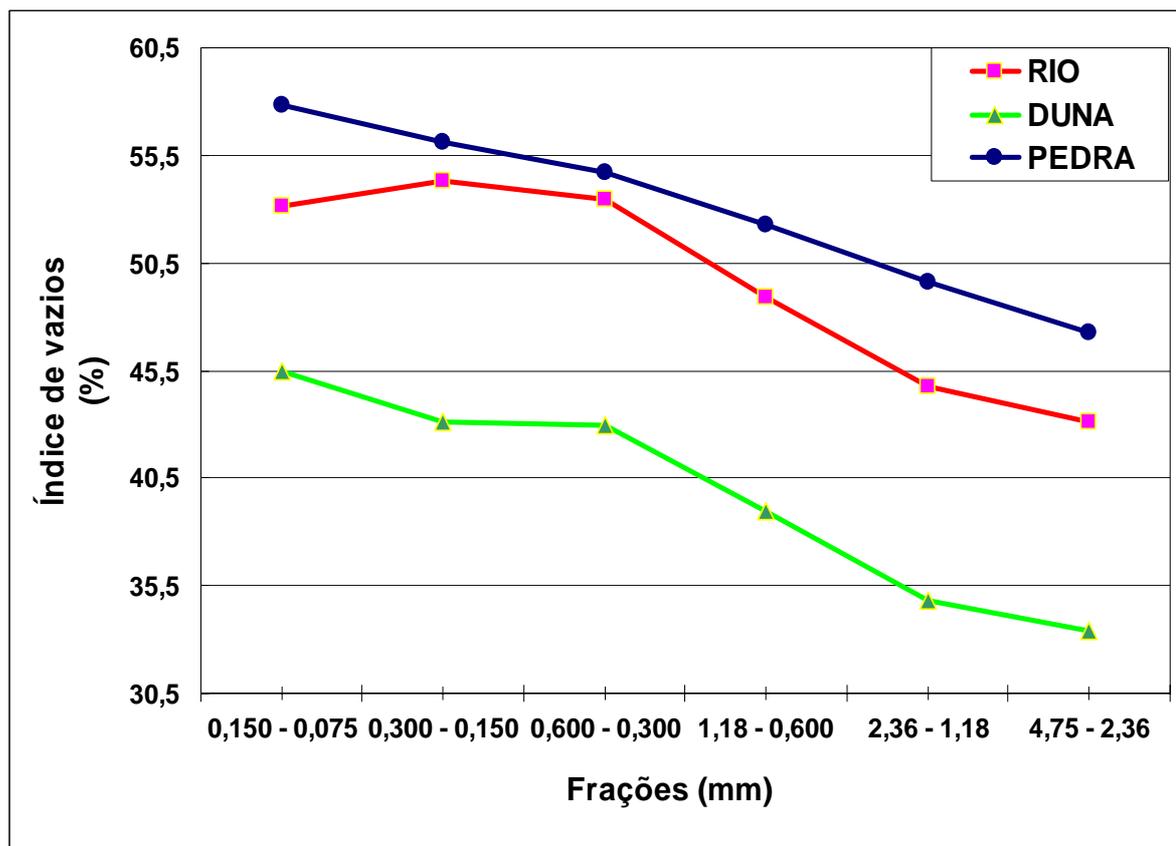


Figura 14 – Variação do índice de vazios com as frações e o tipo de areia.

4.1.2 Rugosidade superficial

A rugosidade dos grãos das areias foi calculada através da dimensão fractal da rugosidade definida por Hyslip e Vallejo (1997) e pela Equação 1. Foram plotados os valores dos logaritmos das áreas e perímetros das projeções dos grãos das frações, e obtidos os coeficientes angulares (m) das retas ajustadas. As dimensões fractais da rugosidade calculada para as diversas frações são apresentadas na Tabela 38. Não se encontrou correlação entre a rugosidade do grão e a dimensão fractal da rugosidade, como descrito na literatura citada acima.

Tabela 38– Resultados da dimensão fractal da rugosidade das frações das areias.

Fração (mm)	Dimensão fractal rugosidade (Dr)		
	Pedra	Rio	Duna
4,75 - 2,36	1,1047	1,0604	1,0638
2,36 - 1,18	1,1105	1,0529	1,0530
1,18 - 0,600	1,0585	1,0690	1,0591
0,600 - 0,300	1,0748	1,0735	1,0784
0,300 - 0,150	1,1093	1,1200	1,0600
0,150 - 0,075	1,0923	1,0781	1,0776

Apesar dos valores obtidos não permitirem afirmar que a dimensão fractal aumenta com a rugosidade dos grãos, as frações da areia de pedra apresentaram maiores valores de dimensão fractal da rugosidade do que as frações da areia de duna, com exceção das frações 1,18 – 0,600 e 0,600 – 0,300 mm. Sugerem-se novos estudos com intuito de aprimorar o procedimento para quantificação da rugosidade superficial dos grãos das areias.

4.1.3 Área específica

Na Tabela 39 apresentam-se os resultados de determinação da área específica das frações das areias, cujos valores confirmaram as expectativas de que grãos mais rugosos apresentam maiores valores de área específica e que, quanto menor a dimensão do grão, maior a área específica. Os valores obtidos para a fração 0,600 – 0,300 mm da areia de duna foi a exceção das conclusões acima apresentadas.

Tabela 39– Resultados médios da área específica das frações das areias (m²/kg).

Fração (mm)	Esférica		
	Pedra	Rio	Duna
4,75 - 2,36	2,0320	1,1840	1,3569
2,36 - 1,18	2,7150	1,9227	1,8798
1,18 - 0,600	6,6179	4,4241	4,0034
0,600 - 0,300	14,4375	7,4518	8,2566
0,300 - 0,150	27,3148	17,4786	16,0812
0,150 - 0,075	50,0076	44,6583	25,3075

Para melhor visualização da variação da área específica com as frações e para os diversos tipos de areia, apresenta-se o gráfico da Figura 15, onde se percebe que a areia de pedra até a fração 1,18 - 0,600 mm não apresenta diferenças significativas das outras areias. A areia de rio apresenta praticamente as mesmas áreas específicas da areia de duna, com exceção da fração mais fina. Portanto, as frações mais grossas apresentam pequenas diferenças de áreas específicas, mesmo com variação na forma e textura dos grãos.

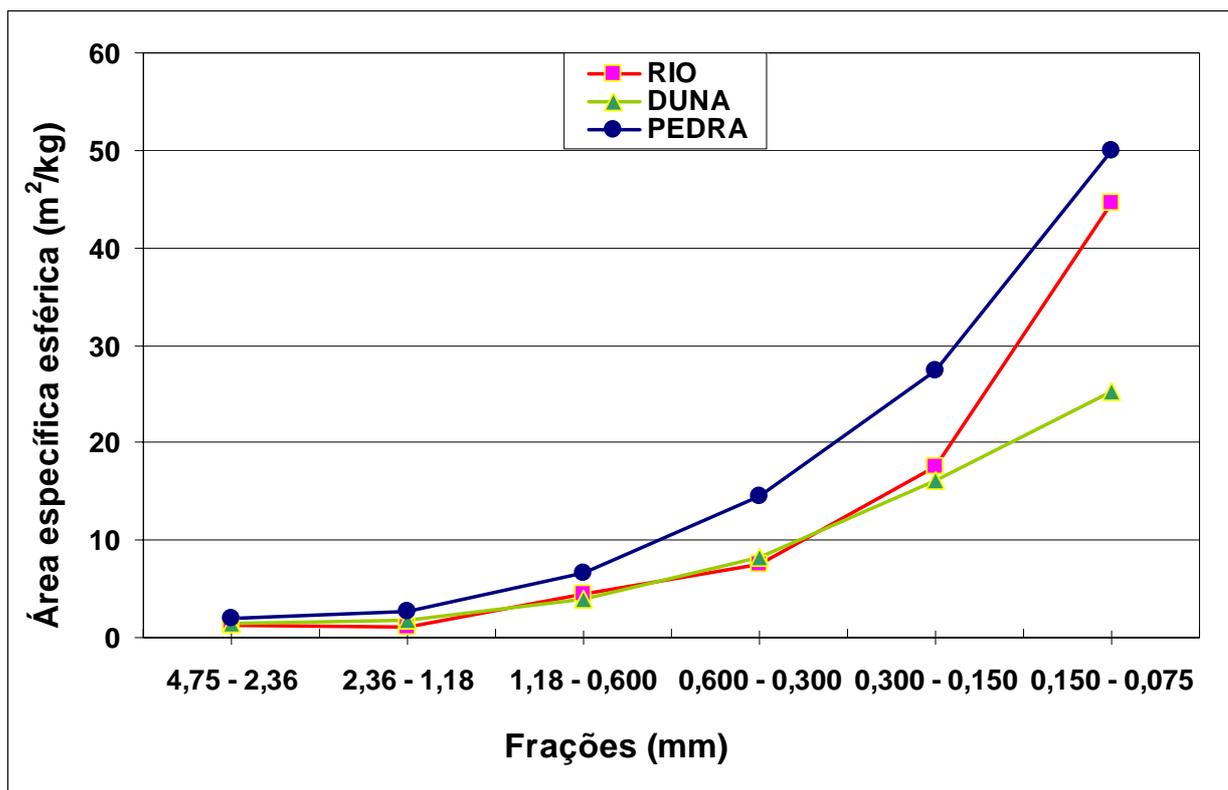


Figura 15 – Gráfico das áreas específicas das frações das areias.

Para avaliar as diferenças entre as médias das áreas específicas das frações das areias analisadas, foi realizado o teste de Tukey, apresentado na Tabela 40, cujos resultados ressaltam que as frações 4,75 - 2,36 mm e 2,36 - 1,18 mm para as areias de pedra, rio e duna, não apresentam diferenças estatísticas. Esta conclusão já tinha sido observada na análise da Figura 15.

Ainda do teste de Tukey, observa-se que, até a fração 0,600 - 0,300, as areias de rio e duna apresentam as mesmas médias estatísticas para a área específica, o que vem comprovar as observações feitas quando da análise da Figura 15.

Pode-se concluir, portanto, que a área específica das areias somente apresentam diferenças significativas nas frações mais finas, que são as que efetivamente influenciam no cálculo da área específica total da areia.

4.2 CARACTERÍSTICAS DAS AREIAS COMPOSTAS

A seguir estão descritos os resultados obtidos nas areias compostas com as granulometrias definidas na Tabela 2 do Capítulo 3, que foram usadas na preparação das argamassas. Os cálculos dos parâmetros texturais das areias foram baseados na distribuição do número de partículas por fração, pois a área, o perímetro e a dimensão máxima dos grãos das frações são relativos às projeções dos grãos, portanto não se referem às distribuições em massa dos grãos nas diversas frações. Em todos os cálculos, a fração abaixo da peneira ABNT 0,075 mm não foi considerada, tendo em vista que, nesta fração, não foram feitas imagens e nem pesagens dos grãos. Então, para os cálculos, considerou-se que 100% das areias são compostas de grãos até a peneira ABNT 0,075mm e, assim, as distribuições granulométricas das areias, para efeito de cálculo dos parâmetros texturais, ficaram definidas conforme apresentadas na Tabela 41.

Tabela 41– Distribuição granulométrica das areias(porcentagem retida em massa) sem considerar fração abaixo da peneira ABNT 0,075 mm.

Peneiras (mm)	Identificação					
	BSI 1R	ABNT 1R	BSI 2E	ASTM 1E	DTU 1E	N.6
4,75	0	0	0	0	0	0
2,36	0	0	0	10	7,1	0
1,18	0	0	0	30	21,2	29
0,600	0	17,9	21,1	25	20	23
0,300	52,6	28,4	42,1	25	20	19
0,150	42,1	10,5	31,6	10	20	15
0,075	5,3	43,2	5,3	0	11,8	14

Nas Tabelas 42 e 43 apresentam-se os resultados dos cálculos do número de grãos por fração de areia e para cada tipo de areia, considerando-se 100 gramas de areia. Nestes cálculos utilizaram-se os resultados do número de grãos por grama de areia em cada fração, para cada tipo de areia, apresentado na Tabela 20 do Capítulo 3.

Tabela 42– Número de grãos para cada tipo de areia.

Granulometria	Areia	Fração (mm)					
		4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150
		- 2,36	- 1,18	- 0,600	- 0,300	- 0,150	- 0,075
BSI 1R	Pedra	0,0	0,0	0,0	5540,0	33157,5	33782,9
	Rio	0,0	0,0	0,0	2647,4	18632,7	27889,7
	Duna	0,0	0,0	0,0	5677,5	33959,7	11011,1
ABNT 1R	Pedra	0,0	0,0	225,2	2991,6	8291,3	277199,7
	Rio	0,0	0,0	137,5	1429,6	4659,3	228844,1
	Duna	0,0	0,0	170,4	3065,8	8491,9	90349,6
BSI 2E	Pedra	0,0	0,0	265,0	4432,6	24866,1	33782,9
	Rio	0,0	0,0	161,8	2118,2	13973,5	27889,7
	Duna	0,0	0,0	200,5	4542,6	25467,7	11011,1
ASTM 1E	Pedra	3,2	35,7	314,7	2631,6	7874,0	0,0
	Rio	2,5	37,6	192,2	1257,6	4424,8	0,0
	Duna	3,3	47,4	238,1	2696,9	8064,5	0,0
DTU 1E	Pedra	2,2	25,2	251,7	2105,3	15748,0	75529,9
	Rio	1,8	26,5	153,7	1006,0	8849,6	62354,2
	Duna	2,4	33,4	190,5	2157,5	16129,0	24618,0
N.6	Pedra	0,0	34,5	289,5	2000,0	11811,0	89916,5
	Rio	0,0	36,3	176,8	955,7	6637,2	74231,2
	Duna	0,0	45,8	219,1	2049,6	12096,8	29307,1

Tabela 43– Distribuição percentual do número de grãos por granulometria para cada tipo de areia.

Granulometria	Areia	Fração (mm)					
		4,75 - 2,36	2,36 - 1,18	1,18 - 0,600	0,600 - 0,300	0,300 - 0,150	0,150 - 0,075
BSI 1R	Pedra	0	0	0	7,6	45,8	46,6
	Rio	0	0	0	5,4	37,9	56,7
	Duna	0	0	0	11,2	67,1	21,7
ABNT 1R	Pedra	0	0	0,1	1,0	2,9	96,0
	Rio	0	0	0,1	0,6	2,0	97,4
	Duna	0	0	0,2	3,0	8,3	88,5
BSI 2E	Pedra	0	0	0,4	7,0	39,3	53,3
	Rio	0	0	0,4	4,8	31,7	63,2
	Duna	0	0	0,5	11,0	61,8	26,7
ASTM 1E	Pedra	0	0,3	2,9	24,2	72,5	0
	Rio	0	0,6	3,3	21,3	74,8	0
	Duna	0	0,4	2,2	24,4	73,0	0
DTU 1E	Pedra	0	0	0,3	2,3	16,8	80,6
	Rio	0	0	0,2	1,4	12,2	86,1
	Duna	0	0,1	0,4	5,0	37,4	57,1
N.6	Pedra	0	0	0,3	1,9	11,4	86,4
	Rio	0	0	0,2	1,2	8,1	90,5
	Duna	0	0,1	0,5	4,7	27,7	67,0

Existem diversas formas (técnicas) de expressar uma partícula. Normalmente, a distribuição granulométrica dos agregados para concretos e argamassas é expressa em porcentagem da massa total, das quantidades de seus grãos menores que os vários tamanhos considerados, ou, em outras palavras, a

granulometria de uma areia é a proporção em massa dos vários tamanhos de partículas presentes nesta areia. Mas pode-se expressar a distribuição granulométrica como porcentagem do número de grãos de vários tamanhos em relação ao número total de grãos. Quando considerar uma ou outra forma de expressão, sendo que as duas formas estão corretas, depende da finalidade de utilização da resposta obtida. Se forem observados os resultados na Tabela 42, percebe-se que areias com diferentes origens apresentaram diferentes quantidades de número de grãos para um determinado tamanho obtido no peneiramento. Se numa proporção de mistura para produção de argamassas for considerado que o número de grãos é mais importante do que a massa dos grãos, a melhor forma de análise de uma distribuição granulométrica deverá ser expressa em termos de porcentagem de número de grãos por fração.

A partir desta distribuição percentual da quantidade de grãos por fração de areia, foram calculados os parâmetros texturais das areias que são o arredondamento, fator de forma, a esfericidade e a área específica, que estão apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 – Resultados dos ensaios nas areias.

Granulometria	Areia	Massa Unitária (kg/dm ³)	Índice de Vazios (%)	Coefficiente de uniformidade	Módulo de finura	Arredondamento	Esfericidade	Fator de forma	Área específica esférica (m ² /kg)
BSI 1R	RIO	1,401	47,1	2,300	1,40	0,647	0,801	0,743	32,355
	DUNA	1,623	38,2			0,719	0,846	0,802	17,210
	PEDRA	1,302	49,7			0,582	0,758	0,705	36,908
ABNT 1R	RIO	1,565	40,9	4,200	1,15	0,649	0,803	0,743	43,870
	DUNA	1,692	35,5			0,704	0,837	0,791	23,992
	PEDRA	1,404	45,7			0,597	0,768	0,716	48,953
ASTM 1E	RIO	1,489	43,8	4,000	3,05	0,643	0,798	0,741	14,817
	DUNA	1,78	32			0,721	0,847	0,803	13,846
	PEDRA	1,452	44,5			0,569	0,749	0,694	23,506
BSI 2E	RIO	1,437	45,8	2,800	1,70	0,647	0,801	0,743	34,122
	DUNA	1,688	35,9			0,718	0,845	0,801	17,625
	PEDRA	1,363	47,5			0,584	0,759	0,706	38,429
DTU 1E	RIO	1,654	37,6	12,200	2,04	0,649	0,802	0,743	40,716
	DUNA	1,821	30,8			0,712	0,841	0,797	20,891
	PEDRA	1,541	40,7			0,592	0,764	0,713	45,262
N. 6	DUNA	1,804	31,7	7,000	2,38	0,709	0,840	0,795	21,824
	PEDRA	1,495	42,8			0,594	0,766	0,714	46,612

4.2.1 Arredondamento, fator de forma e esfericidade das areias

Na Tabela 45 são apresentados os resultados médios do arredondamento das areias calculadas para as diversas granulometrias e tipos de areia.

Tabela 45– Arredondamento das areias.

Granulometria	Arredondamento		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
BSI 1R	0,582	0,647	0,719
ABNT 1R	0,597	0,648	0,704
BSI 2E	0,584	0,647	0,718
ASTM 1E	0,569	0,643	0,721
DTU 1E	0,592	0,649	0,712
N.6	0,594	0,649	0,709

Foi realizada a análise múltipla de médias para o arredondamento, apresentado na Tabela 46, cujos resultados permitem concluir que as areias de duna apresentam a mesma média de arredondamento para todas as distribuições granulométricas analisadas, o mesmo ocorrendo para a areia de rio. A areia de pedra somente apresenta diferença estatística para a distribuição granulométrica especificada pela ABNT. A partir destas conclusões, pode-se considerar que areia de duna apresenta arredondamento acima de 0,70, enquanto que areia de rio apresenta arredondamento em torno de 0,65 e areia de pedra arredondamento menor do que 0,60.

Tabela 46– Teste Tukey da variável arredondamento das areias compostas.
(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00006, df = 27,000)

	Areia	Granulometria	Arredondamento	1	2	3	4
4	Pedra	astm	0,568548	d			
1	Pedra	bsir	0,581970	d	c		
3	Pedra	bsie	0,584051	d	c		
5	Pedra	dtu	0,592345	d	c		
6	Pedra	N6	0,594127	d	c		
2	Pedra	abnt	0,597105		c		
10	Rio	astm	0,642976			b	
7	Rio	bsir	0,647142			b	
9	Rio	bsie	0,647395			b	
11	Rio	dtu	0,648643			b	
8	Rio	abnt	0,649112			b	
14	Duna	abnt	0,704265				a
18	Duna	N6	0,709164				a
17	Duna	dtu	0,711632				a
15	Duna	bsie	0,717845				a
13	Duna	bsir	0,719224				a
16	Duna	astm	0,720705				a

Os resultados de determinação do fator de forma das areias compostas estão apresentados na Tabela 47, sendo que, após o teste Tukey, apresentado na Tabela 48, pode-se constatar que as areias de duna apresentam a mesma média de arredondamento para todas as distribuições granulométricas analisadas, o mesmo ocorrendo para a areia de rio. A areia de pedra somente apresenta diferença estatística para a distribuição granulométrica especificada pela ABNT. A partir destas conclusões, pode-se considerar que a areia de duna apresenta fator de forma acima de 0,79, enquanto que a areia de rio apresenta fator de forma em torno de 0,74, e a areia de pedra arredondamento menor do que 0,72.

Tabela 47– Resultados médios do fator de forma das areias.

Granulometria	Fator de forma		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
BSI 1R	0,705	0,743	0,802
ABNT 1R	0,716	0,743	0,791
BSI 2E	0,706	0,743	0,801
ASTM 1E	0,694	0,741	0,803
DTU 1E	0,713	0,743	0,797
N.6	0,714	0,743	0,795

Tabela 48– Teste Tukey das médias da variável fator de forma das areias compostas.

(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00003, df = 27,000)

	Areia	Granulometria	Fator de Forma	1	2	3	4	5
4	Pedra	astm	0,693893	e				
1	Pedra	bsir	0,704607	e	d			
3	Pedra	bsie	0,706179	e	d			
5	Pedra	dtu	0,712650	e	d			
6	Pedra	N6	0,714051	e	d			
2	Pedra	abnt	0,716369		d		b	
10	Rio	astm	0,741065			c		
9	Rio	bsie	0,742588			c		
8	Rio	abnt	0,742624			c	b	
7	Rio	bsir	0,742695			c	b	
11	Rio	dtu	0,742706			c		
14	Duna	abnt	0,790776					a
18	Duna	N6	0,794669					a
17	Duna	dtu	0,796596					a
15	Duna	bsie	0,801286					a
13	Duna	bsir	0,802294					a
16	Duna	astm	0,803441					a

A esfericidade das areias compostas está apresentada na Tabela 49, e o teste de comparação múltipla das médias na Tabela 50. Os resultados permitem concluir que a areia de duna apresenta esfericidade acima de 0,83, enquanto que a

areia de rio apresenta esfericidade em torno de 0,80, e a areia de pedra menor do que 0,77.

Tabela 49– Resultados médios da esfericidade das areias.

Granulometria	Esfericidade		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
BSI 1R	0,758	0,801	0,846
ABNT 1R	0,768	0,803	0,837
BSI 2E	0,759	0,801	0,845
ASTM 1E	0,749	0,798	0,847
DTU 1E	0,764	0,802	0,841
N.6	0,766	0,803	0,840

Tabela 50– Teste Tukey das médias da variável esfericidade das areias compostas. (Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = ,00002, df = 27,000)

	Areia	Granulometria	Esfericidade	1	2	3	4
4	Pedra	astm	0,748542	d			
1	Pedra	bsir	0,757508	d	c		
3	Pedra	bsie	0,758911	d	c		
5	Pedra	dtu	0,764484	d	c		
6	Pedra	N6	0,765698	d	c		
2	Pedra	abnt	0,767689		c		
10	Rio	astm	0,798190			b	
7	Rio	bsir	0,801236			b	
9	Rio	bsie	0,801439			b	
11	Rio	dtu	0,802385			b	
8	Rio	abnt	0,802753			b	
14	Duna	abnt	0,837116				a
18	Duna	N6	0,840008				a
17	Duna	dtu	0,841473				a
15	Duna	bsie	0,845111				a
13	Duna	bsir	0,845931				a
16	Duna	astm	0,846679				a

Analisando-se os resultados das tabelas acima, conclui-se que todos os parâmetros de forma variam na ordem crescente da areia de pedra para a areia de

duna e em todas as distribuições granulométricas analisadas. A areia de pedra apresenta, para todas as distribuições granulométricas, os grãos com a menor esfericidade, menor arredondamento e o menor fator de forma.

4.2.2 Rugosidade superficial das areias

Ao se calcular a rugosidade das areias compostas através da dimensão fractal da rugosidade definida por Hyslip e Vallejo (1997) através da Equação 1, a dimensão fractal da rugosidade calculada foi de 1,0018 para areia de pedra, 0,9950 para areia de rio, e de 1,0012 para areia de duna, apresentada na Figura 16. Estes resultados sugerem que o método não se mostrou sensível para a determinação de uma correlação entre dimensão fractal da rugosidade com a rugosidade dos grãos que pudesse confirmar os estudos de Hyslip e Vallejo (1997) e Araújo (2001) de que, quanto mais rugosa a superfície do grão, maior a dimensão fractal da rugosidade.

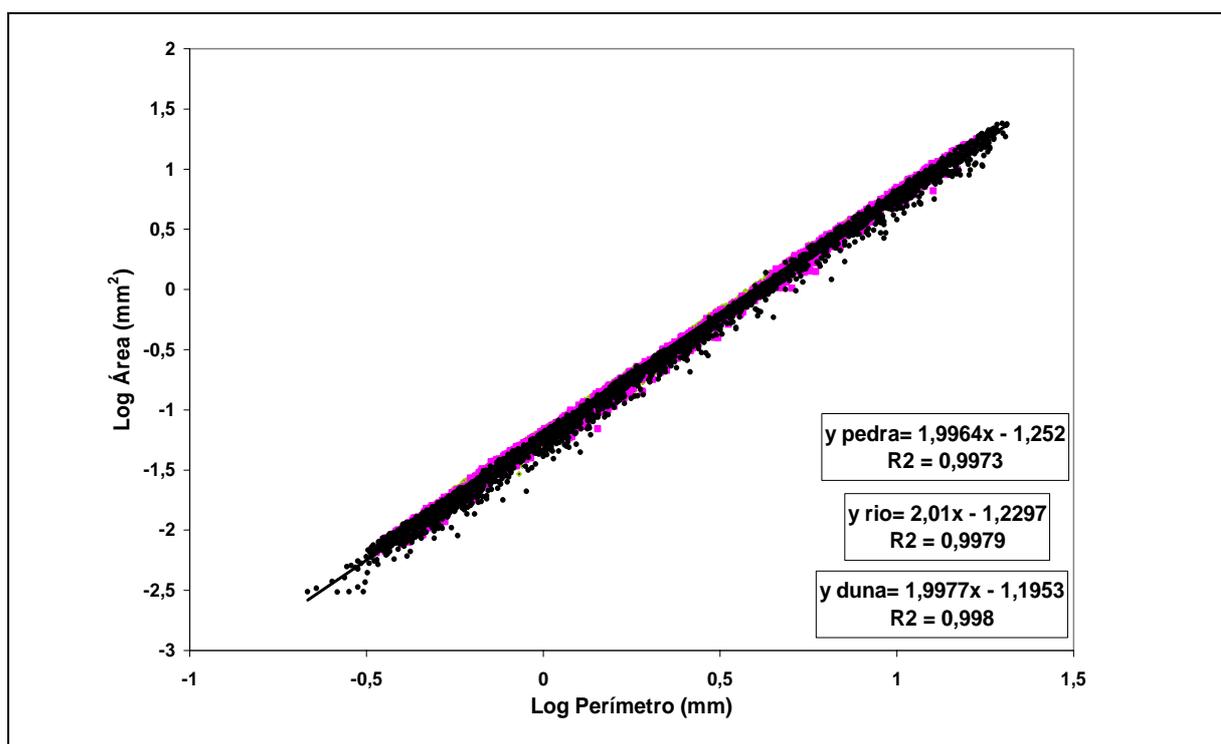


Figura 16 – Gráfico dos coeficientes angulares para cálculo da rugosidade das areias.

4.2.3 Área específica das areias

Na Tabela 51 são apresentados os resultados da determinação da área específica esférica das areias, considerando grãos até a peneira ABNT 0,075 mm.

Tabela 51– Resultados médios da área específica das areias.

Granulometria	Área específica esférica (m ² /kg)		
	Areia pedra	Areia rio	Areia duna
BSI 1R	36,908	32,355	17,210
ABNT 1R	48,953	43,870	23,992
BSI 2E	38,429	34,122	17,625
ASTM 1E	23,506	14,817	13,846
DTU 1E	45,262	40,716	20,891
N.6	46,612	41,920	21,824

A análise comparativa múltipla das médias da área específica esférica é apresentada na Tabela 52, onde se concluiu que as areias compostas com areia de duna apresentam a mesma média estatística, independentemente da composição granulométrica. Para as areias compostas com areia de pedra, as médias das áreas específicas esféricas são iguais, com exceção da granulometria da ASTM, e, para as areias compostas com areia de rio, as médias são iguais, com exceção da granulometria da ASTM. Isto significa que a área específica esférica sofre pequena influência da distribuição granulométrica, considerando o procedimento de cálculo descrito neste trabalho.

Tabela 52– Teste Tukey das médias da área específica esférica das areias compostas.

(Homogenous Groups, alpha = ,05000) (Error: Between MS = 10,892, df = 27,000)

	Areia	Granulometria	Área Especifica Esferica (m ² /kg)	1	2	3	4	5
16	Duna	astm	13,84599	e				
10	Rio	astm	14,81682	e				
13	Duna	bsir	17,20992	e				
15	Duna	bsie	17,62470	e				
17	Duna	dtu	20,89078	e	d			
18	Duna	N6	21,82393	e	d	c		
4	Pedra	astm	23,50617	e	d	c		
14	Duna	abnt	23,99229	e	d	c		
7	Rio	bsir	32,35539		d	c	b	
9	Rio	bsie	34,12179			c	b	
1	Pedra	bsir	36,90761				b	a
3	Pedra	bsie	38,42930				b	a
11	Rio	dtu	40,71649				b	a
8	Rio	abnt	43,86978				b	a
5	Pedra	dtu	45,26212				b	a
6	Pedra	N6	46,61161				b	a
2	Pedra	abnt	48,95348					a

Apesar da pequena influência da composição granulométrica na área específica, as areias de dunas apresentaram as menores áreas específicas e as areias de pedra as maiores, isto para todas as composições granulométricas analisadas. Estes resultados corroboram as teorias de que grãos mais rugosos fornecem maiores áreas específicas, considerando a mesma distribuição granulométrica em massa.

Ao se avaliar a variação da área específica das areias em relação ao número de grãos, observa-se que existe uma tendência de maior área específica da areia quanto maior o número de grãos presentes. A Figura 17 ilustra esta análise onde foram plotadas todas as distribuições granulométricas das areias analisadas, mas separadamente por tipo de areia.

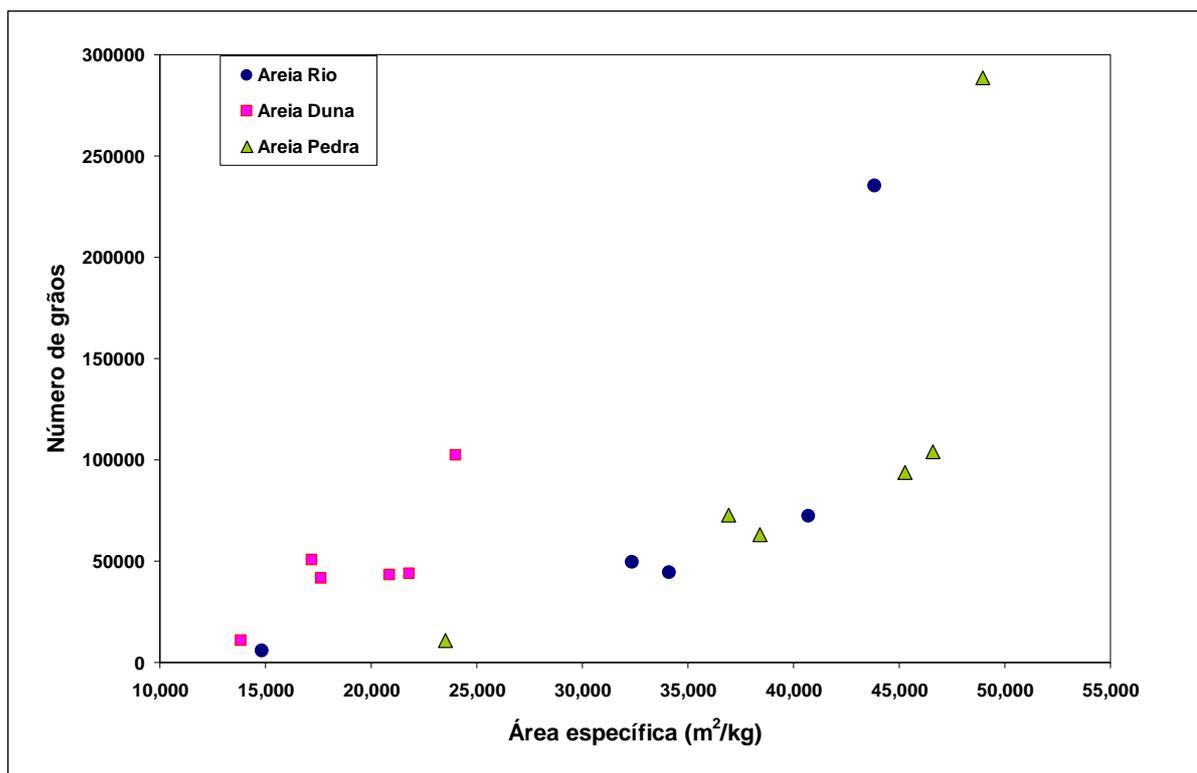


Figura 17 –Variação da área específica das areias em função do número de grãos.

4.2.4 Volume de vazios das areias

Nas areias compostas calculou-se, também, o índice de vazios a partir da massa unitária no estado solto, cujos resultados estão apresentados na Tabela 53. A massa unitária considerada foi determinada conforme procedimento descrito na NBR7251/82.

Tabela 53 – Resultados do índice de vazios das areias.

Granulometria	Massa unitária (kg/dm ³)			Índice de vazios (%)			Massa específica (kg/dm ³)		
	Pedra	Rio	Duna	Pedra	Rio	Duna	Pedra	Rio	Duna
BSI 1R	1,302	1,401	1,623	49,7	47,1	38,2	2,586	2,648	2,627
ABNT 1R	1,404	1,565	1,692	45,7	40,9	35,5	2,587	2,648	2,623
BSI 2E	1,363	1,437	1,688	47,5	45,8	35,9	2,598	2,651	2,635
ASTM 1E	1,452	1,489	1,780	44,5	43,8	32,0	2,616	2,584	2,616
DTU 1E	1,541	1,654	1,821	40,7	37,6	30,8	2,597	2,651	2,633
N. 6	1,495	-	1,804	42,8	-	31,7	2,612	-	2,641

Como ocorreu em todas as frações analisadas, as areias compostas com grãos de duna apresentaram também os menores índices de vazios, seguidas da areia de rio, enquanto que as areias compostas com grãos de pedra apresentaram os maiores índices de vazios. Portanto a influência dos parâmetros texturais das areias no empacotamento das partículas é marcante, principalmente quando se compara a areia de duna com areia de pedra, onde o menor índice de vazios da areia de pedra, que é de 40,7%, é ainda maior do que o maior índice de vazios da areia de duna, que é de 38,2%.

Outra constatação é de que o índice de vazios das areias analisadas neste trabalho, varia mais com o tipo de areia do que com a distribuição granulométrica. Por exemplo, a variação máxima entre as granulometrias da areia de pedra é de 18,4%. Já a variação entre os tipos de areia na mesma granulometria é de, no mínimo 18,2%. Fez-se uma análise de regressão múltipla, apresentada na Tabela 54, para avaliar qual variável independente (tipo de areia ou granulometria) que mais interfere no índice de vazios das areias, e os resultados confirmam que é o tipo de areia.

Tabela 54 – Regressão múltipla para o índice de vazios das areias.
(R= ,92888034 R²= ,86281869 Adjusted R²= ,84322135)
(F(2,14)=44,027 p<,00000 Std.Error of estimate: 2,3595)

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(14)	p-level
Intercept			774,4140	78,25223	9,89638	0,000000
Areia	-0,808989	0,098988	-5,5667	0,68114	-8,17258	0,000001
Granulometria	-0,456459	0,098988	-1,6063	0,34834	-4,61125	0,000404

Tristão (1995) observou que o volume de vazios das areias se correlacionavam com os coeficientes de uniformidade, e que as areias classificadas como de uniformidade média ou desuniformes apresentam menores volumes de vazios do que as areias classificadas como muito uniformes. Ao se repetir esta análise para os resultados obtidos neste trabalho, observou-se o mesmo comportamento para as areias analisadas, conforme ilustra a Figura 18. Salienta-se, porém, a grande diferença no volume de vazios das areias quanto se muda a origem das areias, para uma mesma composição granulométrica, onde se conclui que a distribuição granulométrica das areias influencia o volume de vazios, com

conseqüência na proporção de mistura das argamassas, mas que a forma dos grãos que compõem a areia exercem maior influência.

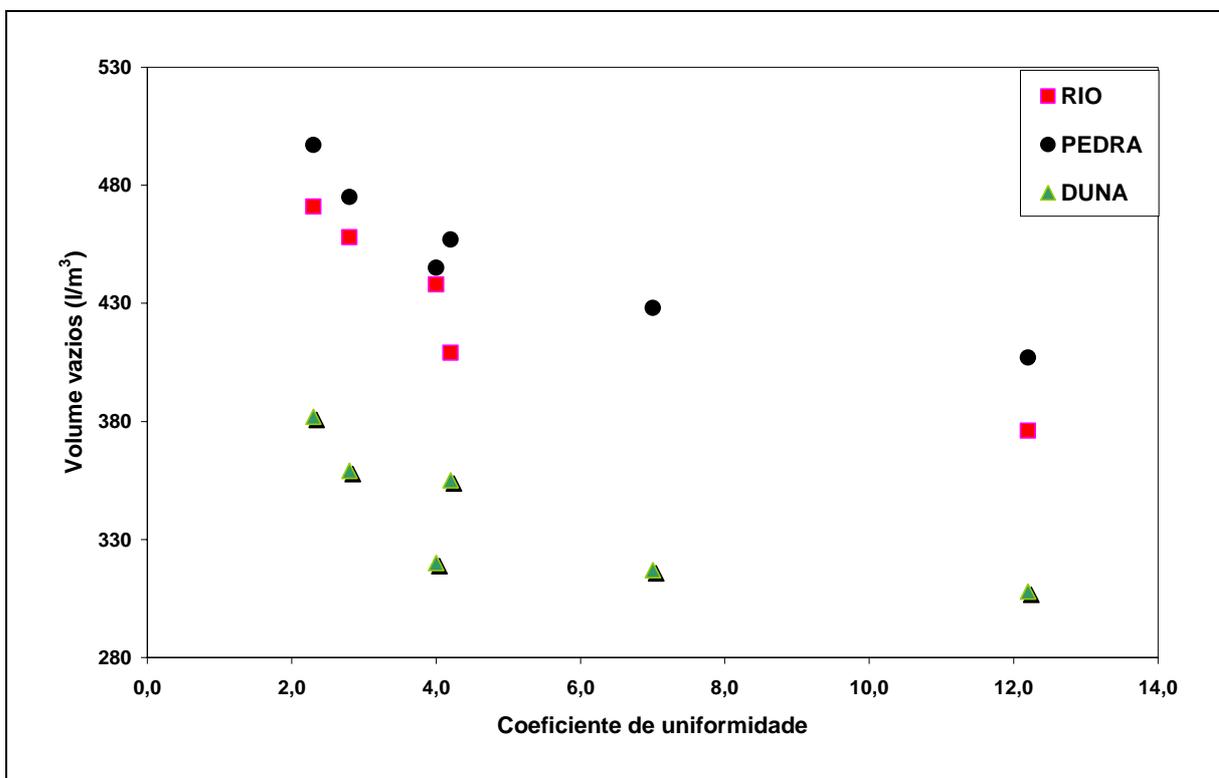


Figura 18 – Variação do volume de vazios das areias com os coeficientes de uniformidade.

A análise da influência dos parâmetros texturais das areias é feita, inicialmente, em relação ao volume de vazios das diversas composições granulométricas analisadas, tendo em vista que o volume de vazios das areias influencia as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Neste sentido, então, na Figura 19 apresenta-se a variação do volume de vazios em função do arredondamento, esfericidade e fator de forma das areias.

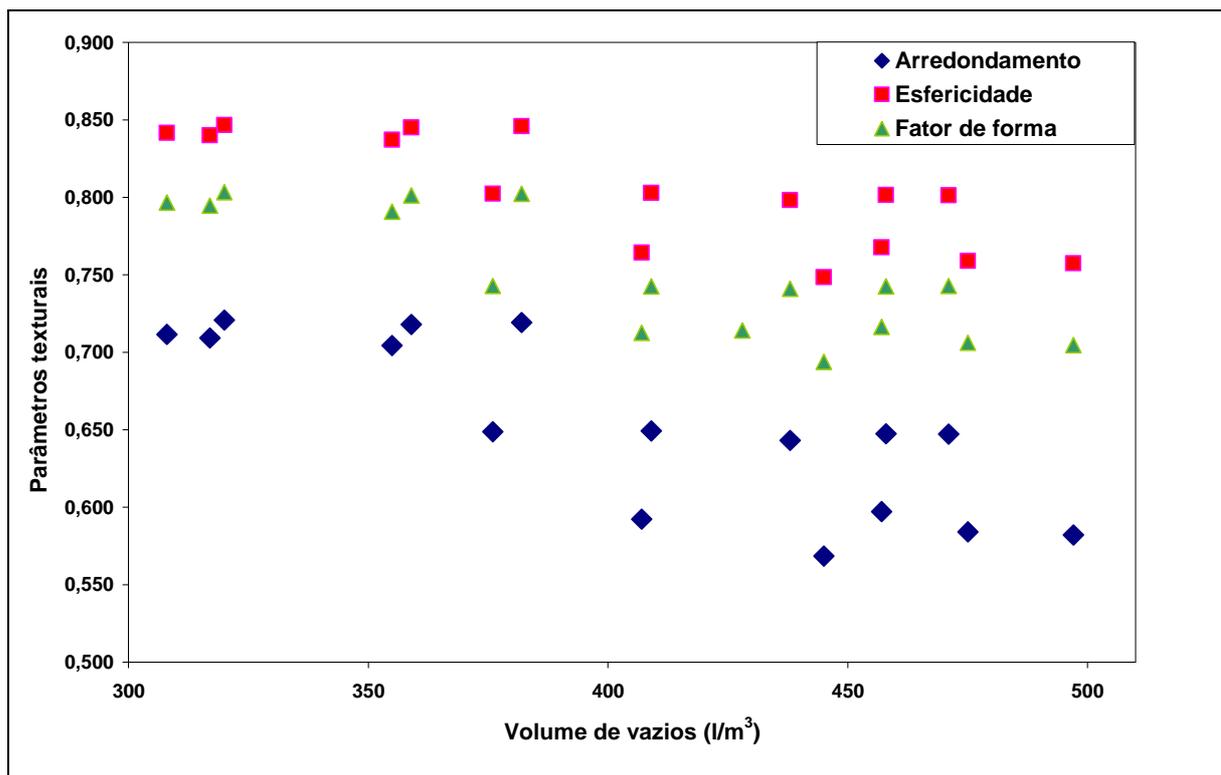


Figura 19 – Variação do volume de vazios das areias com os parâmetros texturais das areias.

No gráfico nota-se uma tendência do aumento do volume de vazios das areias quando os grãos das areias ficam menos arredondados e menos esféricos. O fator de forma das areias também contribuiu no empacotamento das composições granulométricas das areias, com o mesmo comportamento observado tanto para o arredondamento quanto para a esfericidade.

Quando se analisa a influência da área específica das areias no empacotamento das mesmas (Figura 20), não é possível estabelecer uma correlação. Uma explicação é que, nas áreas específicas das frações acima da peneira de abertura de malha 0,075 mm, as diferenças entre as areias não é significativa a ponto de intervir no empacotamento.

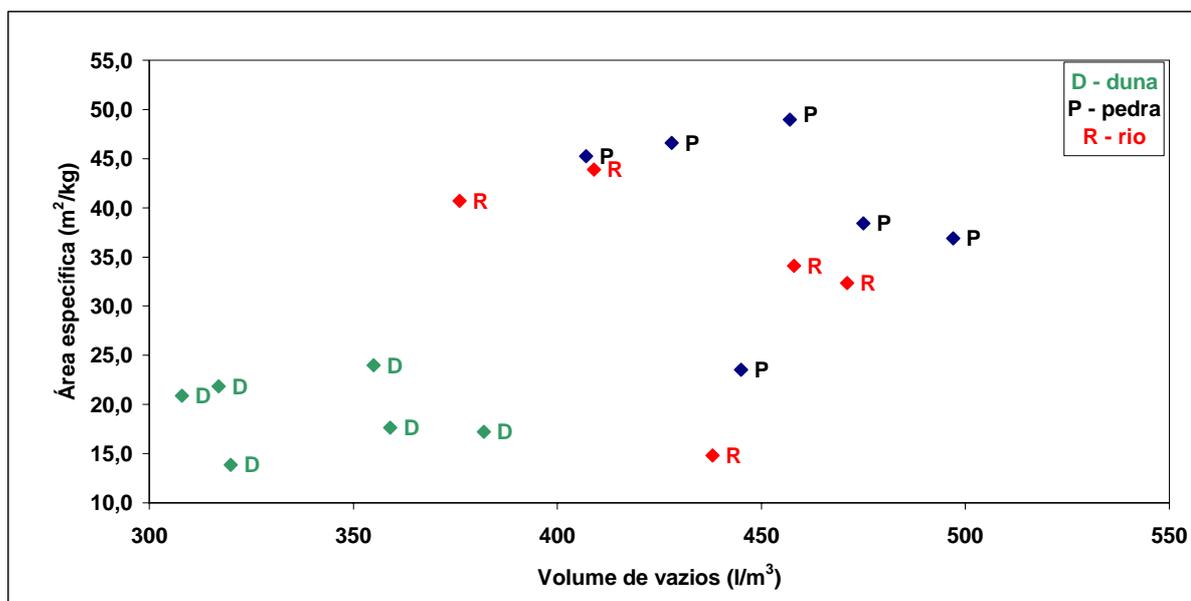


Figura 20 – Variação do volume de vazios das areias com a área específica.

Fez-se uma análise de correlação entre os parâmetros texturais com o índice de vazios das areias, que está apresentada na Tabela 55, e observa-se que o arredondamento, a esfericidade e o fator de forma apresentam boas correlações, que podem ser observadas na última coluna da tabela.

Tabela 55 – Análise de correlação (R) dos parâmetros texturais com o índice de vazios das areias.

	Arredondamento	Esfericidade	Fator de Forma	Área Específica Esférica	Índice vazios
Arredondamento	1,000000	0,999759	0,994673	-0,693296	-0,818220
Esfericidade	0,999759	1,000000	0,992338	-0,686230	-0,814000
Fator de Forma	0,994673	0,992338	1,000000	-0,703150	-0,836699
Área Específica Esférica	-0,693296	-0,686230	-0,703150	1,000000	0,529281
Índice de vazios	-0,818220	-0,814000	-0,836699	0,529281	1,000000

Em síntese, concluí-se que, areias com diferentes composições granulométricas, irão conduzir a diferenças no índice de vazios das areias e, também, que os parâmetros texturais dos grãos que compõem estas areias exercem uma forte influência no índice de vazios das areias, e com mais intensidade do que a distribuição granulométrica. Portanto areias de diferentes origens, com a mesma distribuição granulométrica em massa, terão diferentes índices de vazios e que, em geral, quanto maior a esfericidade, arredondamento e fator de forma dos grãos, menores os índices de vazios das areias.

4.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

As argamassas produzidas estão identificadas nas Tabelas 56 e 57 onde estão descritas as proporções dos materiais em massa e as diversas relações entre os constituintes.

Tabela 56 – Composição das misturas das argamassas nas proporções 1 : 1 : 6 (volume).

Argamassa	Areia	Proporção em massa (cimento: cal: areia: a/c)	Areia/ Argamassa	Aglomerantes/ Argamassa	Água/ Materiais secos (H)	Pasta/ Argamassa
0	Imbituba Duna	1 : 0,644 : 8,484: 2,196	0,688	0,133	0,217	0,312
1	BSI 1R Pedra	1 : 0,671 : 7,570: 2,397	0,650	0,144	0,259	0,350
2	BSI 1R Duna	1 : 0,671 : 9,436: 1,918	0,724	0,128	0,173	0,276
3	BSI 1R Duna	1 : 0,644 : 7,183: 1,580	0,690	0,158	0,179	0,310
4	ABNT 1R Pedra	1 : 0,671 : 8,163: 2,584	0,657	0,135	0,263	0,343
5	ABNT 1R Duna	1 : 0,671 : 9,837: 2,033	0,726	0,123	0,177	0,274
6	ABNT 1R Duna	1 : 0,644 : 8,026: 1,511	0,718	0,147	0,156	0,282
7	BSI 2E Pedra	1 : 0,671 : 7,924: 2,351	0,663	0,140	0,245	0,337
8	BSI 2E Duna	1 : 0,671 : 9,814: 1,793	0,739	0,126	0,156	0,261
9	BSI 2E Duna	1 : 0,644 : 6,878: 1,342	0,697	0,167	0,157	0,303
10	ASTM 1E Pedra	1 : 0,671 : 8,442: 1,984	0,698	0,138	0,196	0,271
11	ASTM 1E Duna	1 : 0,671 : 10,349: 1,611	0,759	0,123	0,134	0,241
12	DTU 1E Pedra	1 : 0,671 : 8,960: 2,303	0,693	0,129	0,217	0,307
13	DTU 1E Duna	1 : 0,671 : 10,587: 1,529	0,768	0,121	0,125	0,232
14	N6 Pedra	1 : 0,671 : 8,692: 2,036	0,701	0,135	0,196	0,299
15	N6 Duna	1 : 0,671 : 10,488: 1,488	0,769	0,122	0,122	0,231

Tabela 57 – Composição das misturas das argamassas nas proporções 1 : 2 : 9 (volume).

Argamassa	Areia	Proporção em massa (cimento: cal: areia: a/c)	Areia/ Argamassa	Aglomerantes/ Argamassa	Água/ Materiais secos (H)	Pasta/ Argamassa
18	BSI 1R Pedra	1 : 1,341 : 11,355 : 3,739	0,651	0,134	0,273	0,349
19	BSI 1R Duna	1 : 1,341 : 14,154 : 2,821	0,733	0,121	0,171	0,267
20	ABNT 1R Pedra	1 : 1,341 : 12,244 : 4,092	0,656	0,125	0,281	0,344
21	ABNT 1R Duna	1 : 1,341 : 14,756 : 3,059	0,732	0,116	0,179	0,268
22	BSI 2E Pedra	1 : 1,341 : 11,887 : 3,965	0,653	0,129	0,279	0,347
23	BSI 2E Duna	1 : 1,341 : 14,721 : 3,007	0,734	0,117	0,176	0,266
25	ASTM 1E Pedra	1 : 1,341 : 12,663 : 3,402	0,688	0,127	0,227	0,312
26	ASTM 1E Duna	1 : 1,341 : 15,523 : 2,755	0,753	0,114	0,154	0,247
27	DTU 1E Pedra	1 : 1,341 : 13,439 : 3,707	0,690	0,120	0,235	0,310
28	DTU 1E Duna	1 : 1,341 : 15,881 : 2,702	0,759	0,112	0,148	0,241
29	N6 Pedra	1 : 1,341 : 13,038 : 3,488	0,691	0,124	0,227	0,309
30	N6 Duna	1 : 1,341 : 15,733 : 2,904	0,750	0,112	0,161	0,250

Analisando-se as variações no conteúdo de água das argamassas, expressando-as em termos de água/materiais secos, observa-se na Figura 21 que, para as argamassas com proporção de mistura em volume de 1:1:6 e 1:2:9, quanto menor o volume de vazios das areias, menores as quantidades de água de amassamento. Neste gráfico constam, também, os resultados das argamassas analisadas por Tristão (1995), e as areias identificadas como de duna estão em amarelo, areia de rio em azul e areia de pedra em preto.

O volume de vazios das areias (V_v) foi calculado a partir do índice de vazios das areias (I_v), mas referindo-se à quantidade de areia por metro cúbico de argamassas fresca, utilizando-se a Equação 15, onde C_{ar} é o consumo de areia por m^3 de argamassa e M_u é a massa unitária da areia no estado solto.

A seguir apresentam-se, nas Tabelas 58 e 59, os resultados dos ensaios nas argamassas no estado fresco, que serão analisados individualmente.

Tabela 58 – Resultados dos ensaios nas argamassas com proporção em volume (1 : 1: 6).

Argamassa	Granulometria Areia	Proporção (massa) (cimento:cal:areia:a/c)	Índice de consistência (mm)	Massa específica (kg/dm ³)	Teor de ar (%)	Retenção de água (%)	Retenção de consistência (%)	Plastômetro (não extrudado) (mm)	Exsudação (60 min) (%)	Retração 24 horas (mm/m)
0	Imbituba / Duna	1 : 0,644 : 8,484: 2,196	250	1,980	3,5	89,0	58,2	101	3,29	-
1	BSI 1R / Pedra	1 : 0,671 : 7,570: 2,397	251	1,921	2,1	90,9	30,8	112	2,08	1,01567
2	BSI 1R / Duna	1 : 0,671 : 9,436: 1,918	269	2,055	3,5	89,9	48,1	103	3,20	-
3	BSI 1R / Duna	1 : 0,644 : 7,183: 1,580	276	2,084	1,7	90,8	66,1	105	2,60	-
4	ABNT 1R / Pedra	1 : 0,671 : 8,163: 2,584	251	1,943	0,7	92,1	70,4	19	2,07	2,68343
5	ABNT 1R / Duna	1 : 0,671 : 9,837: 2,033	285	2,094	1,2	89,7	57,2	97	3,04	-
6	ABNT 1R / Duna	1 : 0,644 : 8,026: 1,511	261	2,110	2,5	91,9	59,7	111	0,82	-
7	BSI 2E / Pedra	1 : 0,671 : 7,924: 2,351	262	1,960	1,5	89,4	50,2	89	3,56	0,77315
8	BSI 2E / Duna	1 : 0,671 : 9,814: 1,793	263	2,112	2,6	90,8	64,5	99	1,16	-
9	BSI 2E / Duna	1 : 0,644 : 6,878: 1,342	255	2,123	2,1	94,0	75,1	50	0,60	-
10	ASTM 1E / Pedra	1 : 0,671 : 8,442: 1,984	263	2,057	1,1	86,5	40,6	107	3,17	0,33427
11	ASTM 1E / Duna	1 : 0,671 : 10,349: 1,611	257	2,198	0,5	92,0	64,2	88	1,59	0,59265
12	DTU 1E / Pedra	1 : 0,671 : 8,9599: 2,303	250	2,043	-	91,6	69,1	12	1,60	0,92803
13	DTU 1E / Duna	1 : 0,671 : 10,587: 1,529	258	2,192	2,1	91,3	63,5	27	1,46	0,06431
14	N6 / Pedra	1 : 0,671 : 8,692: 2,036	250	2,061	0,8	90,0	42,4	104	2,34	0,30893
15	N6 / Duna	1 : 0,671 : 10,488: 1,488	257	2,180	3,1	92,3	57,6	102	1,33	0,30788

Tabela 59 – Resultados dos ensaios nas argamassas com proporção em volume (1 : 2: 9).

Argamassa	Granulometria Areia	Proporção (massa) (cimento:cal:areia:a/c)	Índice de consistência (mm)	Massa específica (kg/dm ³)	Teor de ar (%)	Retenção de água (%)	Retenção de consistência (%)	Plastômetro (não extrudado) (mm)	Exsudação (60 min.) (%)	Retração 24 horas (mm/m)
18	BSI 1R / Pedra	1 : 1,341 : 11,355 : 3,739	254	1,914	1,2	90,1	57,6	85	2,43	2,46074
19	BSI 1R / Duna	1 : 1,341 : 14,154 : 2,821	267	2,080	2,2	89,5	41,2	110	2,23	0,39332
20	ABNT 1R / Pedra	1 : 1,341 : 12,244 : 4,092	250	1,908	1	92,6	69,9	0	1,67	3,51474
21	ABNT 1R / Duna	1 : 1,341 : 14,756 : 3,059	262	2,060	2,3	92,5	69,4	28	1,22	2,95455
22	BSI 2E / Pedra	1 : 1,341 : 11,887 : 3,965	264	1,906	1,4	91,6	64,0	59	2,2	3,36582
23	BSI 2E / Duna	1 : 1,341 : 14,721 : 3,007	262	2,058	2,9	93,0	70,6	97	1,03	1,91593
25	ASTM 1E / Pedra	1 : 1,341 : 12,663 : 3,402	251	2,008	0,6	91,2	59,3	91	1,41	2,96692
26	ASTM 1E / Duna	1 : 1,341 : 15,523 : 2,755	259	2,136	0,9	93,8	71,9	62	0,33	0,91636
27	DTU 1E / Pedra	1 : 1,341 : 13,439 : 3,707	255	1,998	-	92,6	70,3	0	1,14	2,68665
28	DTU 1E / Duna	1 : 1,341 : 15,881 : 2,702	264	2,139	1,8	92,4	73,9	0	1,71	1,92176
29	N6 / Pedra	1 : 1,341 : 13,038 : 3,488	266	1,994	1,1	90,3	56,3	98	2,31	4,44911
30	N6 / Duna	1 : 1,341 : 15,733 : 2,904	269	2,123	1,5	92,8	77,4	8	0,96	3,28249

4.3.1 Massa específica, retenção de água e de consistência

A massa específica das argamassas no estado fresco teve uma forte correlação com o volume de vazios da areia na argamassa, sendo que, como era esperado, quanto maior o volume de vazios na areia, menor a massa específica da argamassa. Esta conclusão pode ser visualizada na Figura 23, onde estão plotadas todas as argamassas analisadas.

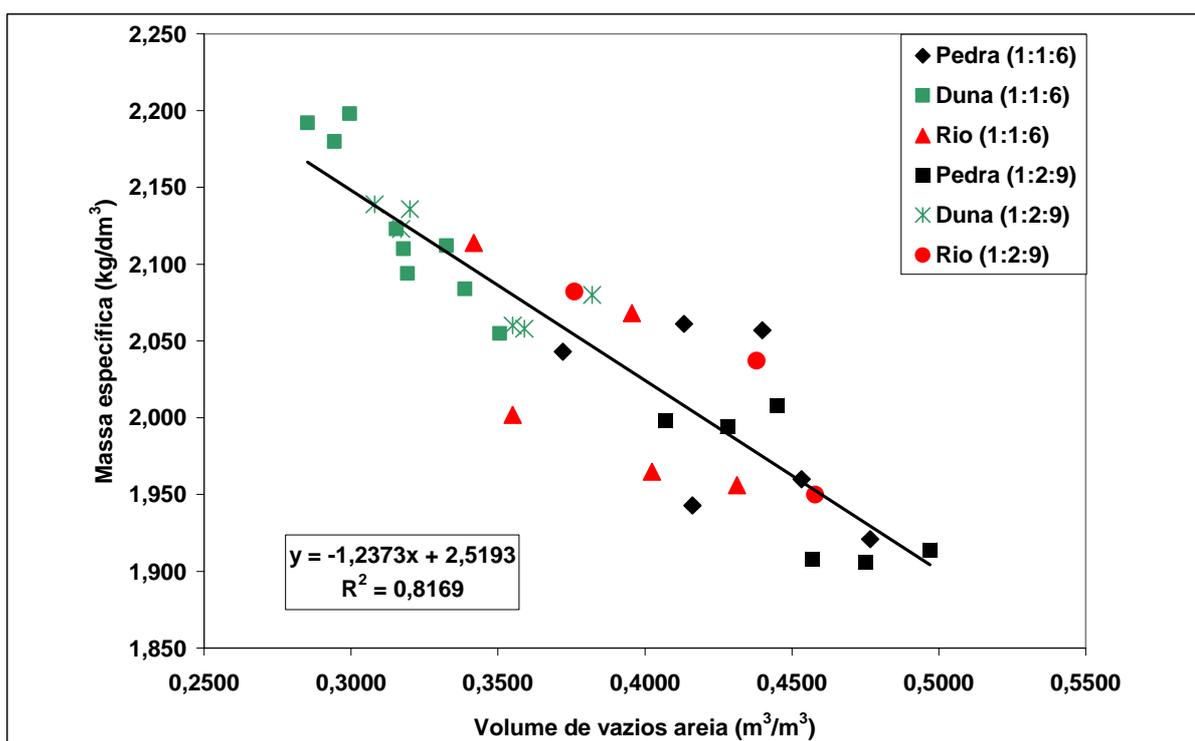


Figura 23 – Variação da massa específica das argamassas no estado fresco com o volume de vazios das areias.

As variações da retenção de água com o teor de finos, em massa, estão apresentados na Figura 24, onde constam todos os valores obtidos nas argamassas. Numa análise geral dos resultados não se encontrou uma correlação entre as propriedades, mas se fossem analisadas somente as argamassas com areias de rio, percebe-se uma tendência de aumento da retenção de água quanto maior o teor de finos. Por outro lado, quando se analisa somente as argamassas com areia de duna, ocorre uma inversão nessa tendência, indicando a influência do tipo de areia na retenção de água das argamassas.

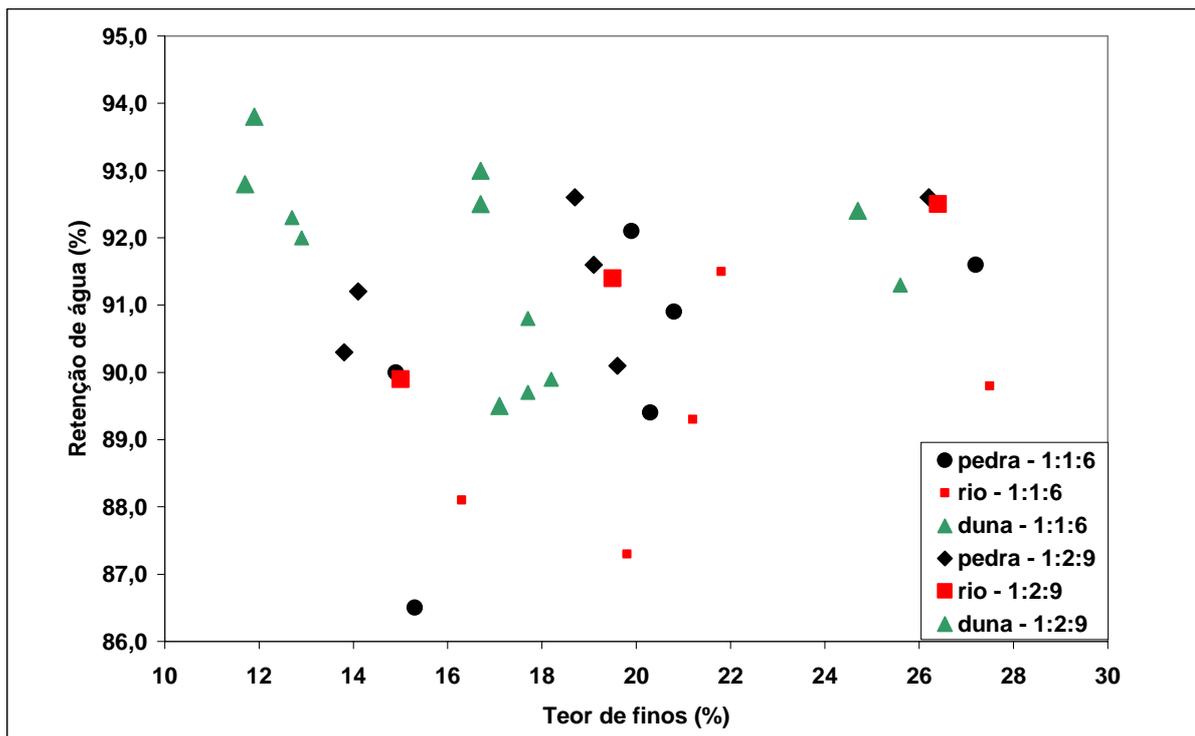


Figura 24 – Variação da retenção de água das argamassas no estado fresco com o teor de finos.

Na Figura 25 apresentam-se destacados os resultados da retenção de consistência das argamassas com areia de duna, na cor vermelha, onde se observa uma tendência de aumento da retenção de consistência com o aumento na relação agregado/aglomerantes na proporção de mistura 1:2:9 em volume. Mas com areia de pedra, identificados pela cor preta, não é possível estabelecer qualquer tendência de correlação.

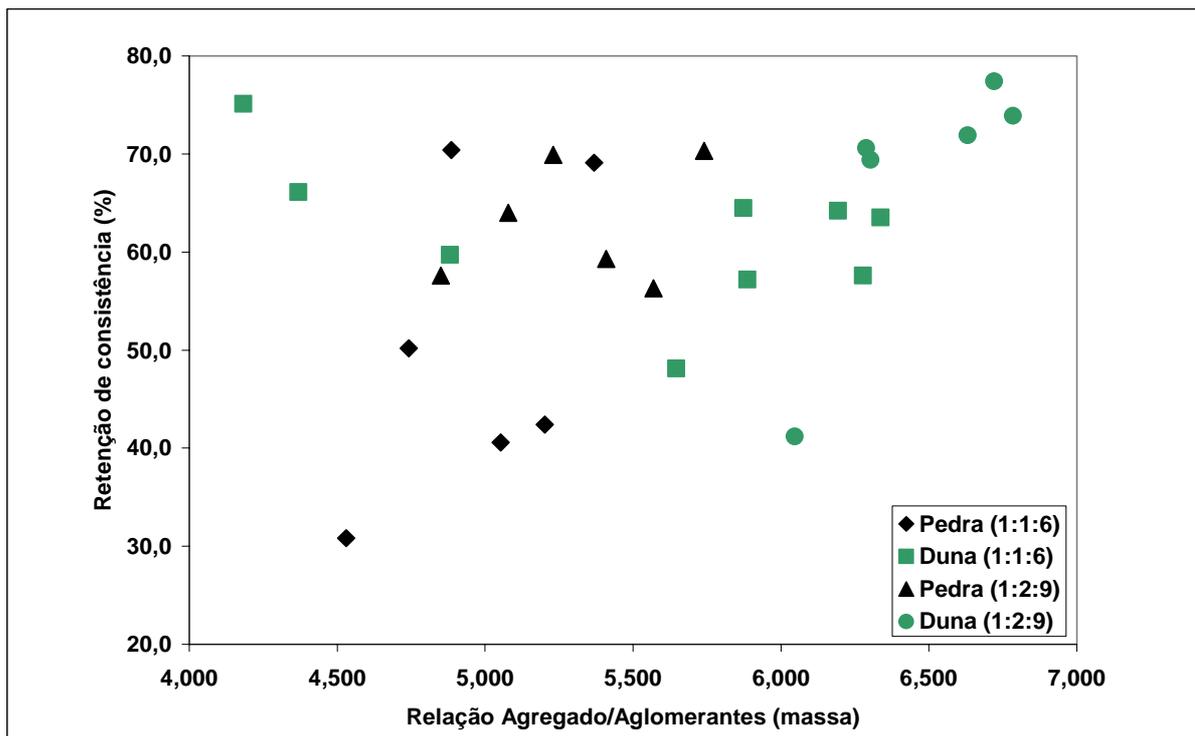


Figura 25 – Variação da retenção de consistência das argamassas no estado fresco com a relação agregado/aglomerantes.

Quando se correlacionam as retenções de consistência com as retenções de água das argamassas, se observa na Figura 26, uma tendência de correlação sendo que quanto maior a retenção de água maior a retenção de consistência das argamassas.

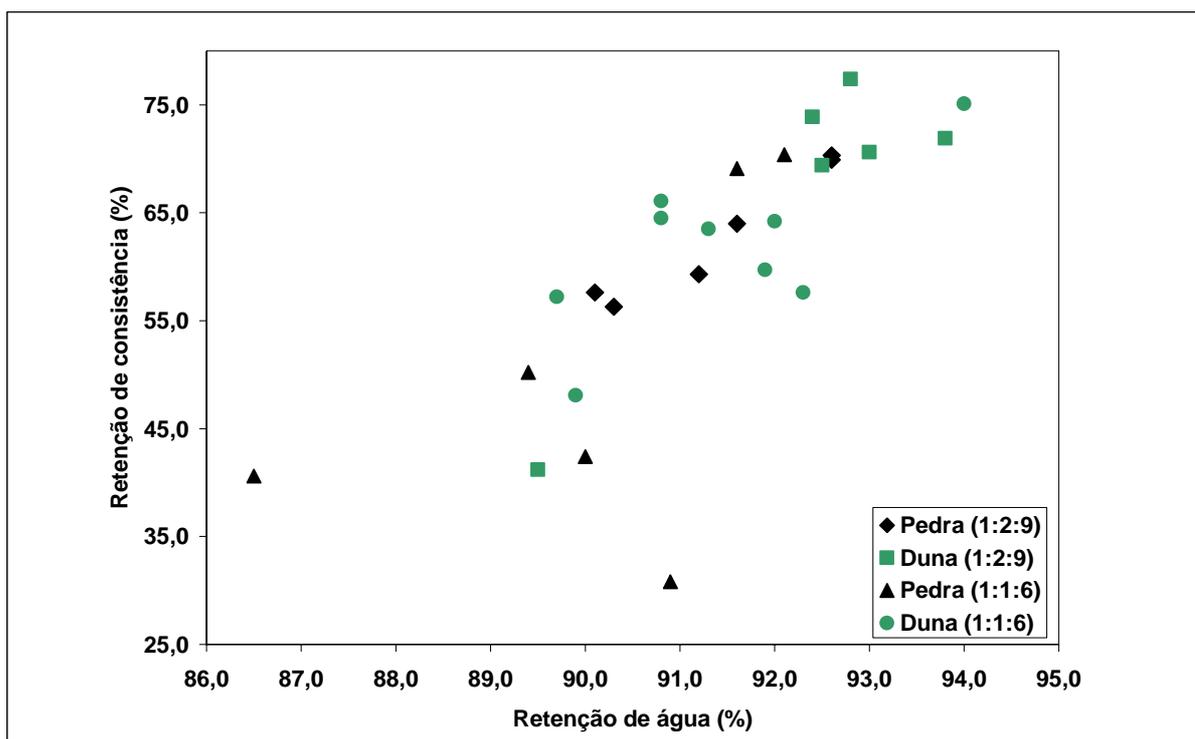


Figura 26 – Variação da retenção de consistência com a retenção de água das argamassas.

4.3.2 Exsudação de água

Nas Figuras 27 e 28 apresentam-se as curvas de água exsudada, para as argamassas com proporções de mistura em volume 1 : 1 : 6 e 1 : 2 : 9, onde se observa que as argamassas com areias de pedra, em destaque, apresentam as maiores exsudações de água.

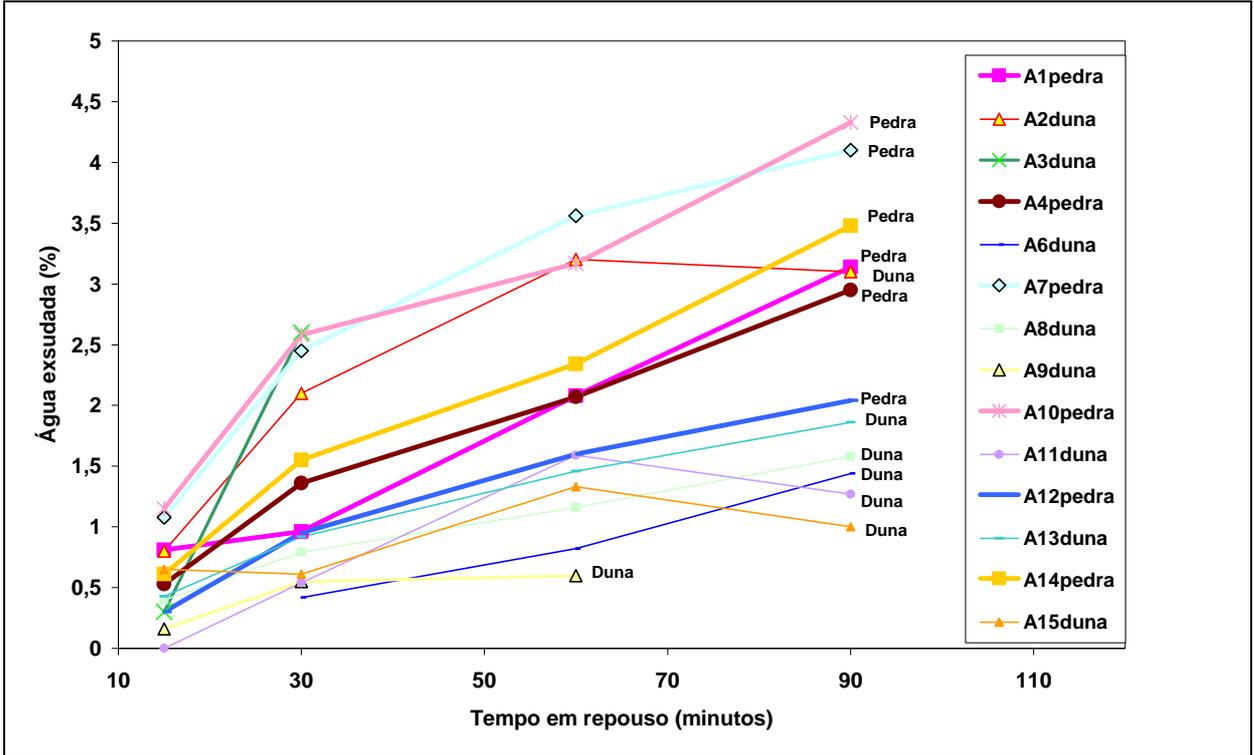


Figura 27 – Gráfico da exsudação de água das argamassas com proporções de mistura em volume 1 : 1 : 6.

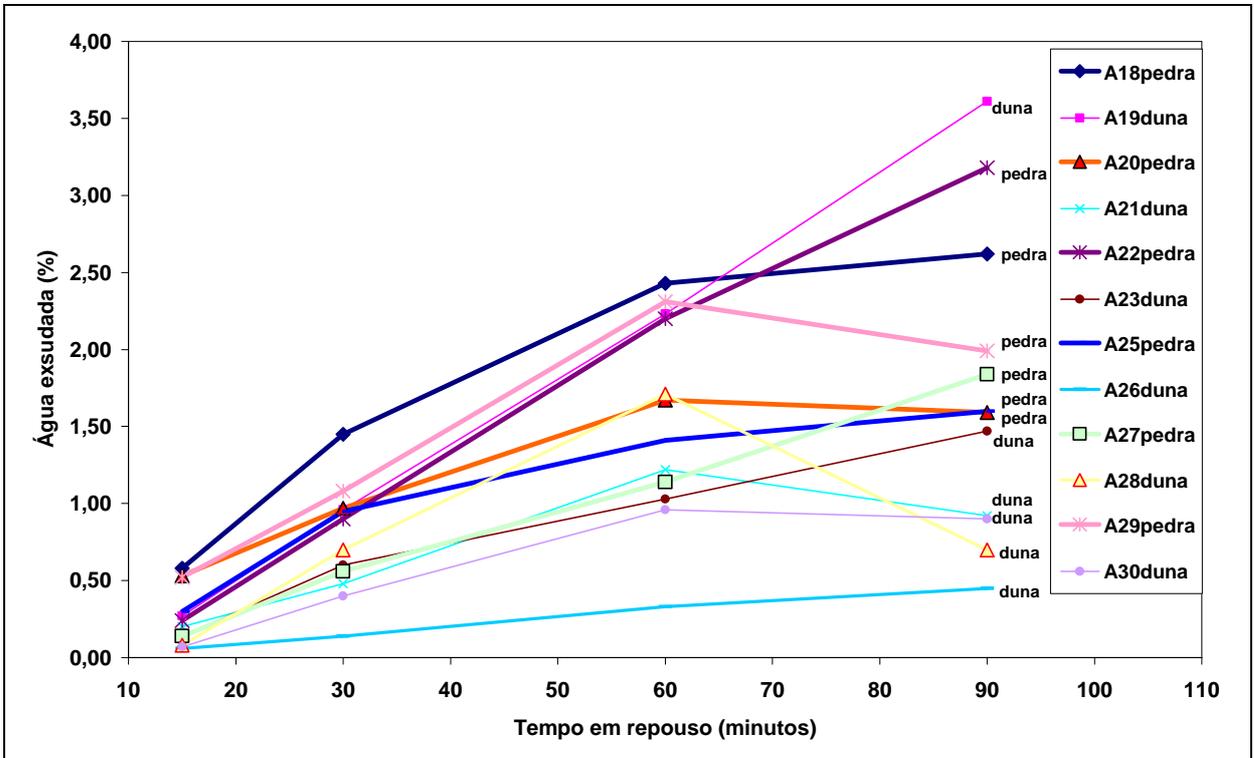


Figura 28 – Gráfico da exsudação de água das argamassas com proporções de mistura em volume 1 : 2 : 9.

Tristão (1995) observou que a porcentagem de água exsudada até 60 minutos apresentava uma relação linear com o tempo em que a argamassa ficou em repouso. Então, adotando-se a exsudação aos 60 minutos, constata-se, pelos resultados apresentados nas Tabelas 58 e 59, que as argamassas produzidas com areia de pedra apresentaram maiores valores de exsudação quando comparadas com as argamassas produzidas com areia de duna. Esta constatação significa que, quanto maior o volume de vazios das areias, maior a quantidade de água e maior a exsudação. Tristão (1995) já tinha observado que, quanto maior a relação água/materiais secos, maior a exsudação.

Outra constatação é que as argamassas produzidas com proporção de mistura em volume 1:1:6 apresentam maior exsudação do que as argamassas produzidas com proporção de mistura em volume 1:2:9, sugerindo que a exsudação sofre influência do teor de cal da argamassa.

4.3.3 Retração plástica

Os resultados das retrações plásticas das argamassas até 24 horas após sua produção, estão apresentadas nas Figuras 29 e 30, para as argamassas com proporções de mistura em volume 1 : 1 : 6 e 1 : 2 : 9 respectivamente. A retração plástica, sobre bases não absorventes, não pode ser considerada como a retração dos revestimentos de argamassa. Estes resultados são usados para avaliar o comportamento das argamassas isoladamente, servindo como um parâmetro relativo entre argamassas.

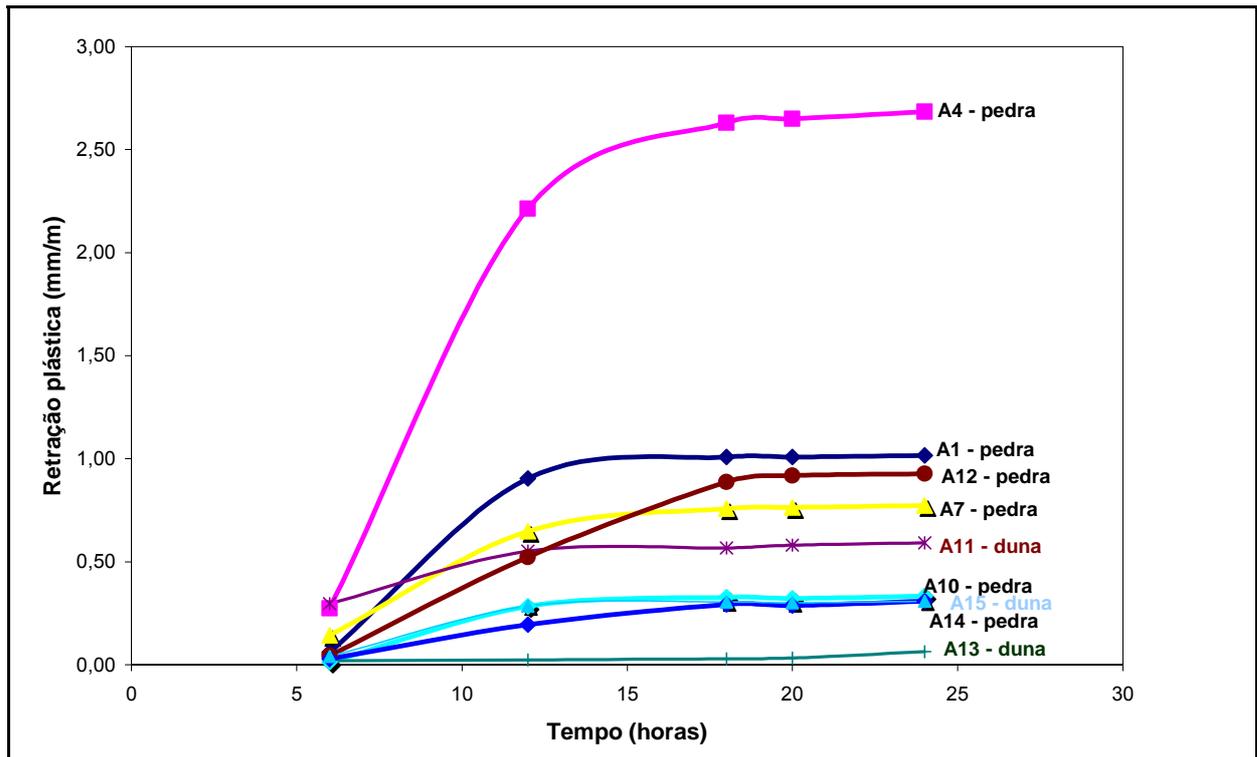


Figura 29 – Retração plástica das argamassas com proporção de mistura 1 : 1 : 6 (volume).

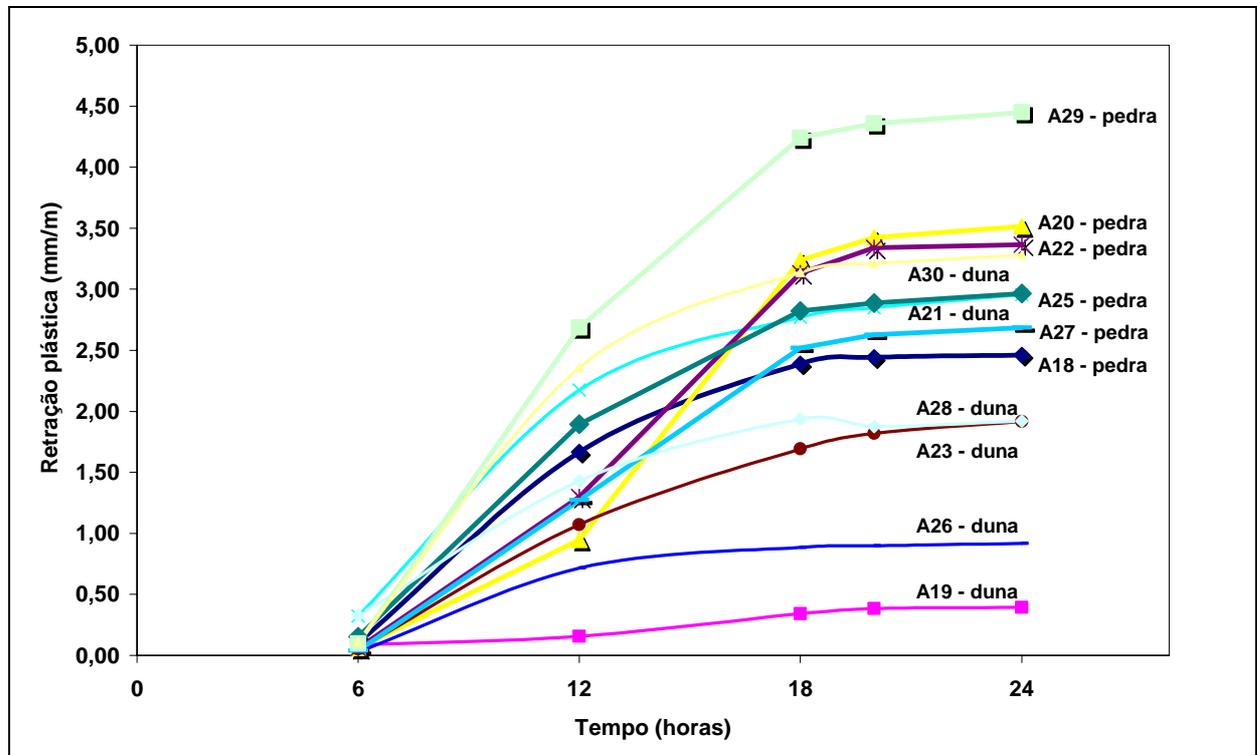


Figura 30 – Retração plástica das argamassas com proporção de mistura 1 : 2 : 9 (volume).

A retração plástica quanto ao estado físico do material foi definida por Bastos (2001) como a retração devida à evaporação de água da argamassa, quando a fração sólida dispõe de mobilidade e está associada a maior ou menor exsudação da água das argamassas. Bastos (2001) conclui, resumindo, que o aumento dos teores de cal e de pasta promovem um aumento na retração plástica das argamassas. Na figura 31 realmente se observa esta tendência de aumento da retração plástica com a quantidade de pasta na argamassa.

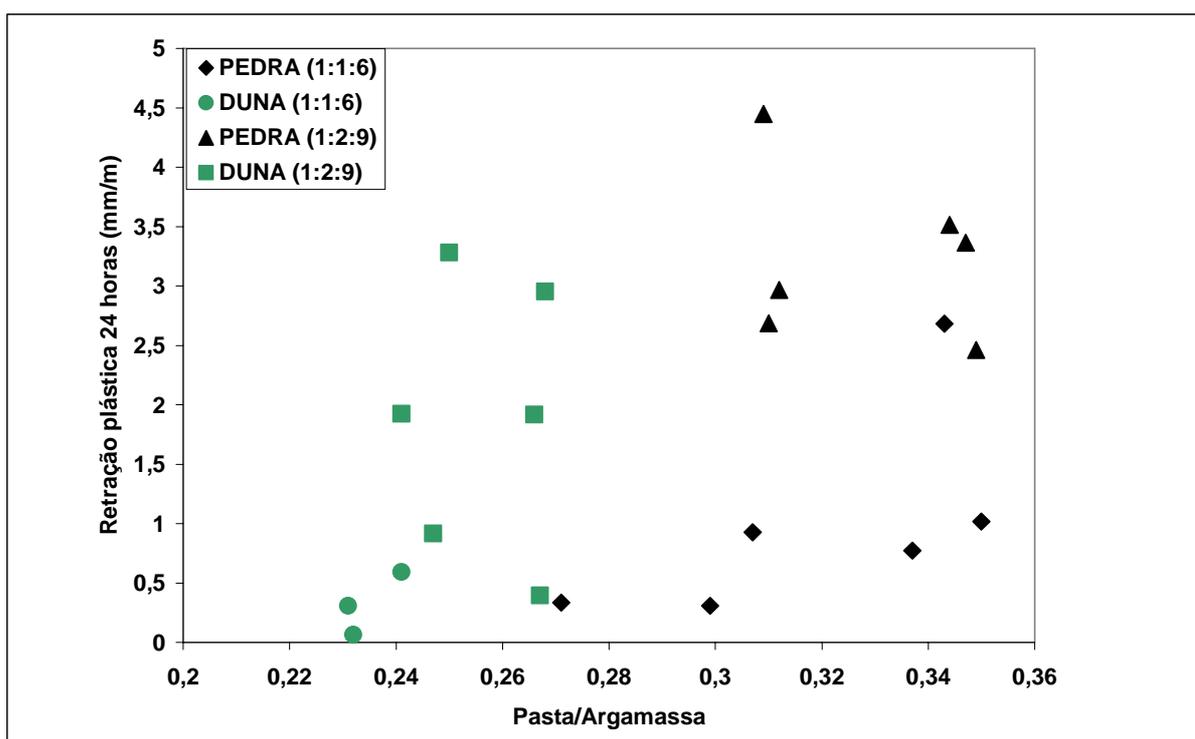


Figura 31 – Retração plástica das argamassas em função da relação pasta/argamassa.

Avaliou-se também, neste trabalho, a retração plástica em função da relação água/materiais secos, conforme Figura 32. Observa-se que existe uma tendência de aumento da retração com o aumento da relação água/materiais secos. Neste gráfico nota-se a grande diferença na retração plástica das argamassas de proporção 1:1:6 em relação à proporção 1:2:9 em volume. A grande diferença observada anteriormente se deve ao fato do aumento do teor de pasta e da relação água/materiais secos, quando se utiliza areia de pedra.

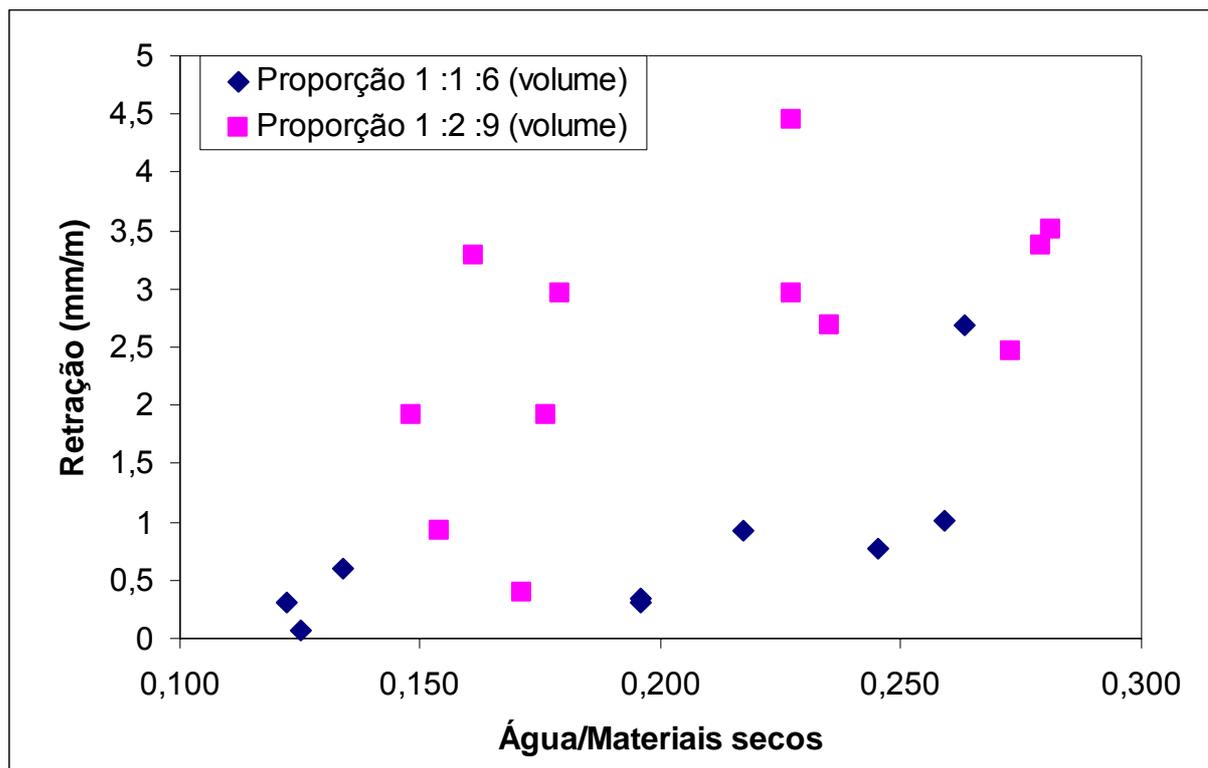


Figura 32 – Retração plástica das argamassas em função da relação água/materiais secos.

Adotou-se para efeito de comparação, em todas as argamassas, o resultado da retração plástica das argamassas após 24 horas de aplicadas sobre base não absorvente, cujos resultados foram apresentados nas Tabelas 58 e 59. Nestes resultados observa-se que as argamassas produzidas na proporção de mistura em volume de 1:2:9 apresentaram maiores retrações plásticas do que as argamassas com proporção de mistura em volume 1:1:6. Pode-se considerar que as argamassas de proporção de mistura (volume) 1:1:6 apresentam, em sua grande maioria, retração plástica após 24 horas menores do que 1 mm/m, enquanto que as argamassas de proporção de mistura (volume) 1:2:9 apresentam, em sua grande maioria, retração plástica após 24 horas maiores do que 1 mm/m.

Constata-se também que, fixando-se a composição granulométrica e as proporções em volume, as argamassas produzidas com areia de pedra apresentaram as maiores retrações, principalmente para argamassas com proporção de mistura 1:2:9.

4.3.4 Área específica

A hipótese inicial de que a área específica das areias apresenta uma correlação com a quantidade de água usada nas argamassas não se confirmou. Isto se deve ao fato da área específica nas frações mais grossas não apresentar diferenças significativas. Na Figura 33 foram plotadas as áreas específicas esféricas das areias, considerando grãos até a peneira ABNT 0,075 mm.

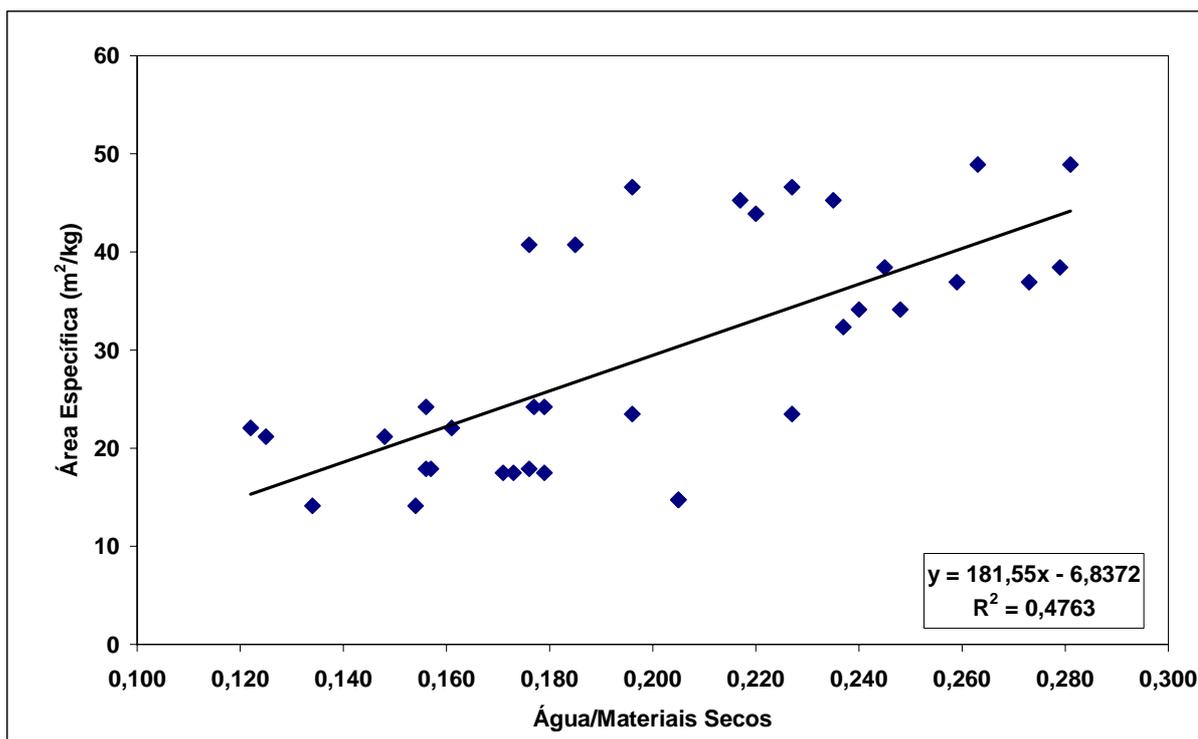


Figura 33 – Variação da relação água/materiais secos das argamassas com a área específica das areias.

Destacando-se as áreas específicas em função do tipo de areia, percebe-se, na Figura 34, que as argamassas produzidas com areia de duna apresentam as menores relações água/materiais secos, mas não é possível identificar uma correlação entre as variáveis.

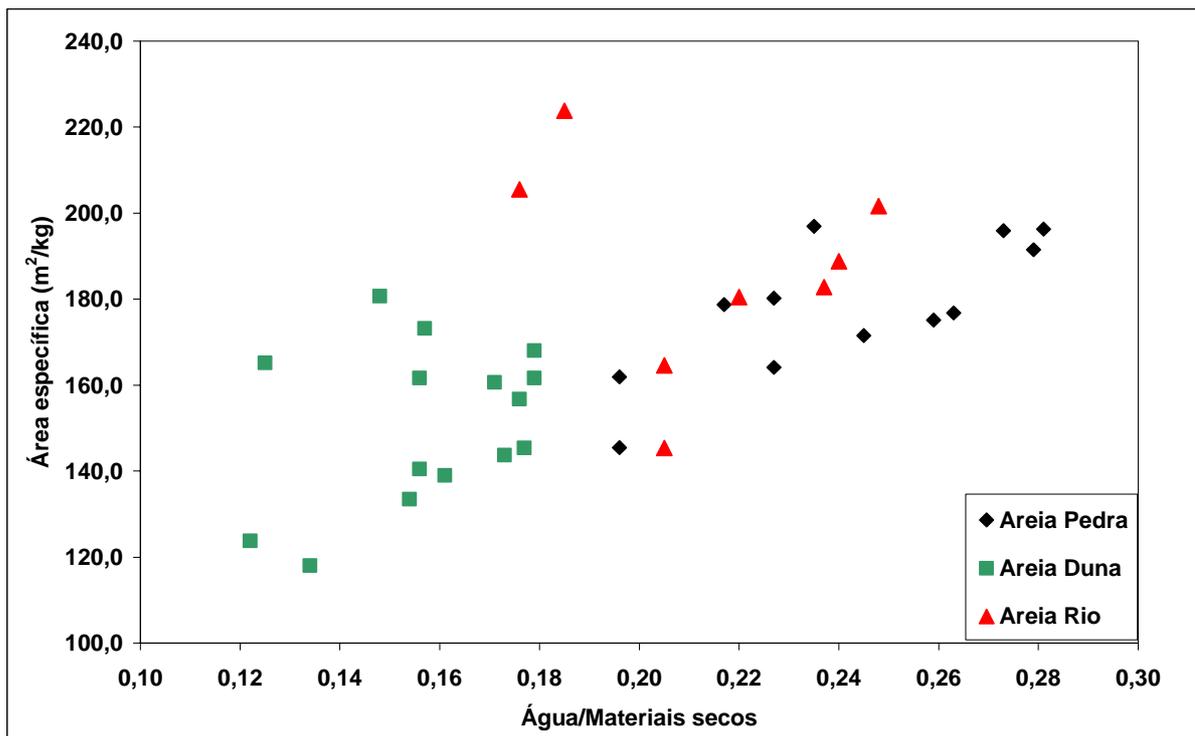


Figura 34 – Variação da relação água/materiais secos das argamassas com a área específica das areias com identificação das areias utilizadas.

Quanto aos resultados obtidos com o plastômetro de Voss, a variação nos ensaios foi muito grande, não possibilitando qualquer tipo de correlação, necessitando-se portanto de mais experimentos para que se possa tirar conclusões sobre o ensaio.

4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Nas Tabelas 60 e 61 são apresentados os resultados médios dos ensaios das argamassas no estado endurecido na idade de 28 dias. Apresentam-se, no Anexo A, os valores individuais para cada ensaio realizado, bem como análise estatística básica, incluindo as médias, desvios e coeficientes de variação.

As propriedades mecânicas das argamassas analisadas apresentaram correlação com o conteúdo de água para todas as argamassas analisadas, o que vem confirmar os trabalhos de Sinha (1981), Selmo (1989) e Tristão (1995).

Faz-se inicialmente uma análise das argamassas com proporção de mistura 1: 1: 6 e 1: 2 : 9 isoladamente e, posteriormente, uma análise englobando todas as argamassas produzidas, identificando as areias utilizadas.

Tabela 60 – Resultados dos ensaios nas argamassas no estado endurecido com proporção em volume (1 : 1: 6).

Argamassa	Granulometria Areia	Proporção (massa) (cimento:cal:areia:a/c)	Água/Materiais secos (%)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa específica (kg/dm ³)	Coeficiente absorção Capilar (kg/m ² /min ^{0,5})	Resistências (MPa)			Módulo de deformação (MPa)
								Compressão axial	Compressão diametral	Tração na flexão	
1	BSI 1R / Pedra	1 : 0,671 : 7,570: 2,397	25,9	19,2	31,1	1,662	3,182	1,60	0,22	0,46	1140
2	BSI 1R / Duna	1 : 0,671 : 9,436: 1,918	17,3	12,5	23,4	1,878	1,892	2,99	0,46	0,56	2683
3	BSI 1R / Duna	1 : 0,644 : 7,183: 1,580	17,9	-	-	-	1,607	-	-	-	5334
4	ABNT 1R / Pedra	1 : 0,671 : 8,163: 2,584	26,3	19,8	32,9	1,660	2,789	1,42	0,20	0,45	923
5	ABNT 1R / Duna	1 : 0,671 : 9,837: 2,033	17,7	11,8	22,7	1,920	1,775	3,04	0,45	0,79	4340
6	ABNT 1R / Duna	1 : 0,644 : 8,026: 1,511	15,6	-	-	-	1,362	4,03	-	-	5474
7	BSI 2E / Pedra	1 : 0,671 : 7,924: 2,351	24,5	17,8	30,5	1,715	2,850	1,86	0,26	0,46	1693
8	BSI 2E / Duna	1 : 0,671 : 9,814: 1,793	15,6	11,3	21,9	1,929	1,391	3,41	0,57	1,00	6803
9	BSI 2E / Duna	1 : 0,644 : 6,878: 1,342	15,7	-	-	-	0,996	-	1,05	1,83	6852
10	ASTM 1E / Pedra	1 : 0,671 : 8,442: 1,984	19,6	14,4	26,5	1,842	2,013	2,84	0,46	0,95	4222
11	ASTM 1E / Duna	1 : 0,671 : 10,349: 1,611	13,4	9,8	20,0	2,036	1,128	4,78	0,72	1,25	7620
12	DTU 1E / Pedra	1 : 0,671 : 8,9599: 2,303	21,7	16,4	29,2	1,786	1,659	2,36	0,36	0,66	3432
13	DTU 1E / Duna	1 : 0,671 : 10,587: 1,529	12,5	9,2	18,8	2,038	0,851	5,01	0,81	1,46	6665
14	N6 / Pedra	1 : 0,671 : 8,692: 2,036	19,6	14,4	26,5	1,841	1,648	2,84	0,49	0,86	5618
15	N6 / Duna	1 : 0,671 : 10,488: 1,488	12,2	9,1	18,5	2,037	1,026	4,71	0,64	1,39	12157

Tabela 61 – Resultados dos ensaios nas argamassas no estado endurecido com proporção em volume (1 : 2: 9).

Argamassa	Granulometria Areia	Proporção (massa) (cimento:cal:areia:a/c)	Água/Materiais secos (%)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa específica (kg/dm ³)	Coeficiente absorção Capilar (kg/m ² /min ^{0,5})	Resistências (MPa)			Módulo de deformação (MPa)
								Compressão axial	Compressão diametral	Tração na flexão	
18	BSI 1R / Pedra	1 : 1,341 : 11,355 : 3,739	27,3	20,8	33,4	1,604	3,257	0,71	0,06	0,21	1238
19	BSI 1R / Duna	1 : 1,341 : 14,154 : 2,821	17,1	13,0	24,1	1,849	2,142	2,09	0,11	0,34	4451
20	ABNT 1R / Pedra	1 : 1,341 : 12,244 : 4,092	21,0	22,0	34,9	1,586	2,959	0,62	0,07	0,19	1212
21	ABNT 1R / Duna	1 : 1,341 : 14,756 : 3,059	17,9	14,2	25,8	1,814	1,842	0,79	0,10	0,26	2265
22	BSI 2E / Pedra	1 : 1,341 : 11,887 : 3,965	27,9	22,4	35,1	1,568	3,261	0,53	0,05	0,18	816
23	BSI 2E / Duna	1 : 1,341 : 14,721 : 3,007	17,6	14,1	25,7	1,827	2,069	0,83	0,11	0,30	1702
25	ASTM 1E / Pedra	1 : 1,341 : 12,663 : 3,402	22,7	17,4	30,3	1,739	2,254	0,74	0,09	0,19	1722
26	ASTM 1E / Duna	1 : 1,341 : 15,523 : 2,755	15,4	12,4	23,9	1,925	1,685	0,97	0,15	0,34	5063
27	DTU 1E / Pedra	1 : 1,341 : 13,439 : 3,707	23,5	18,6	31,7	1,702	2,129	0,89	0,10	0,27	2248
28	DTU 1E / Duna	1 : 1,341 : 15,881 : 2,702	14,8	12,0	23,3	1,933	1,653	1,27	0,14	0,46	4141
29	N6 / Pedra	1 : 1,341 : 13,038 : 3,488	22,7	17,6	30,4	1,724	2,448	0,86	0,10	0,23	1685
30	N6 / Duna	1 : 1,341 : 15,733 : 2,904	16,1	12,8	24,3	1,904	1,842	0,87	0,10	0,25	2023

4.4.1 Índices físicos

A absorção de água por imersão, índice de vazios (Figura 35) e a massa específica seca das argamassas (Figura 36) foram analisadas em relação à quantidade de água na argamassa, expressa em termos da relação água/materiais secos, que é função dos parâmetros texturais das areias utilizadas.

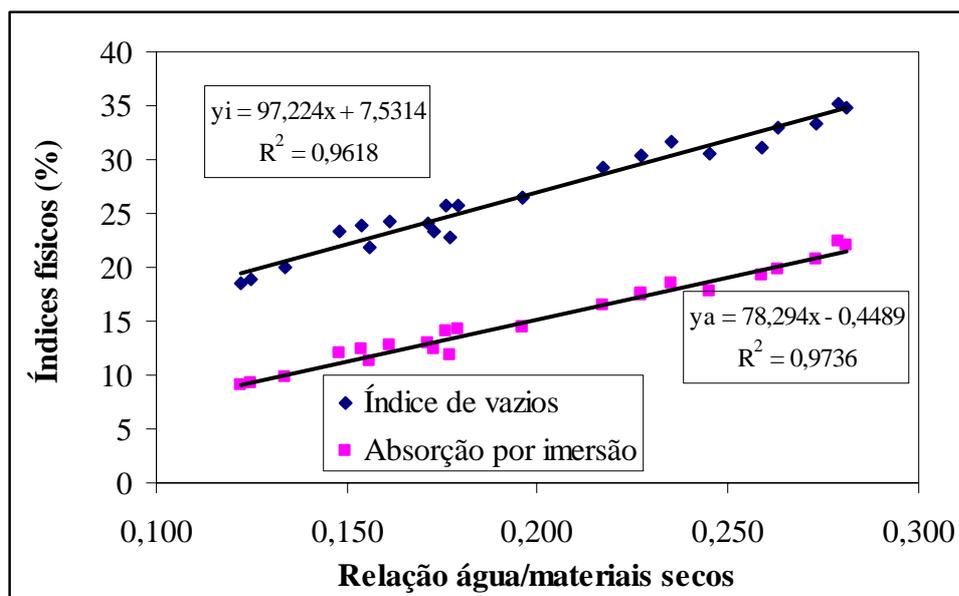


Figura 35 – Variação da absorção por imersão e índice de vazios das argamassas com a relação água/materiais secos.

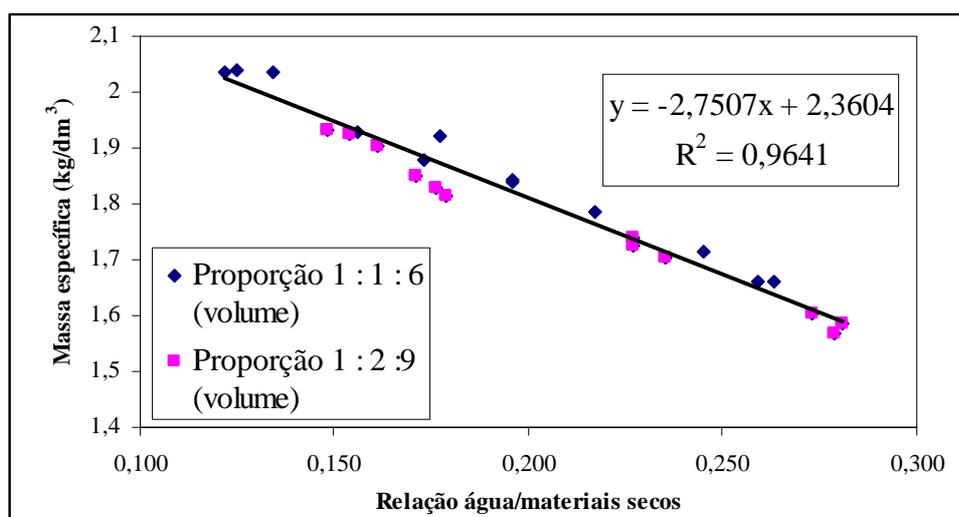


Figura 36 – Variação da massa específica das argamassas com a relação água/materiais secos.

Para todas as argamassas, quanto maiores foram os teores de água, maiores os índices de vazios e a absorção de água por imersão, e menores as massas específicas, conclusões estas já obtidas por Tristão (1995) quando analisou argamassas com areia de rio.

Observa-se, nas Tabelas 60 e 61, que as argamassas que apresentam os maiores índices de vazios e as maiores absorção de água por imersão são as argamassas produzidas com areias de pedra, o que vem corroborar todas as análises no estado fresco de que os parâmetros texturais das areias interferem no conteúdo de água das argamassas que, por sua vez, altera as propriedades das argamassas no estado endurecido.

4.4.2 Absorção de água por capilaridade

A capacidade de absorção capilar das argamassas foi avaliada comparando-se os coeficientes de absorção capilar das argamassas, obtidos a partir do coeficiente de declividade das retas ajustada. Nas Figuras 37 e 38 estão representadas as curvas para as argamassas com proporção de mistura 1:1:6 e 1:2:9, em volume, para as areias de pedra e duna respectivamente.

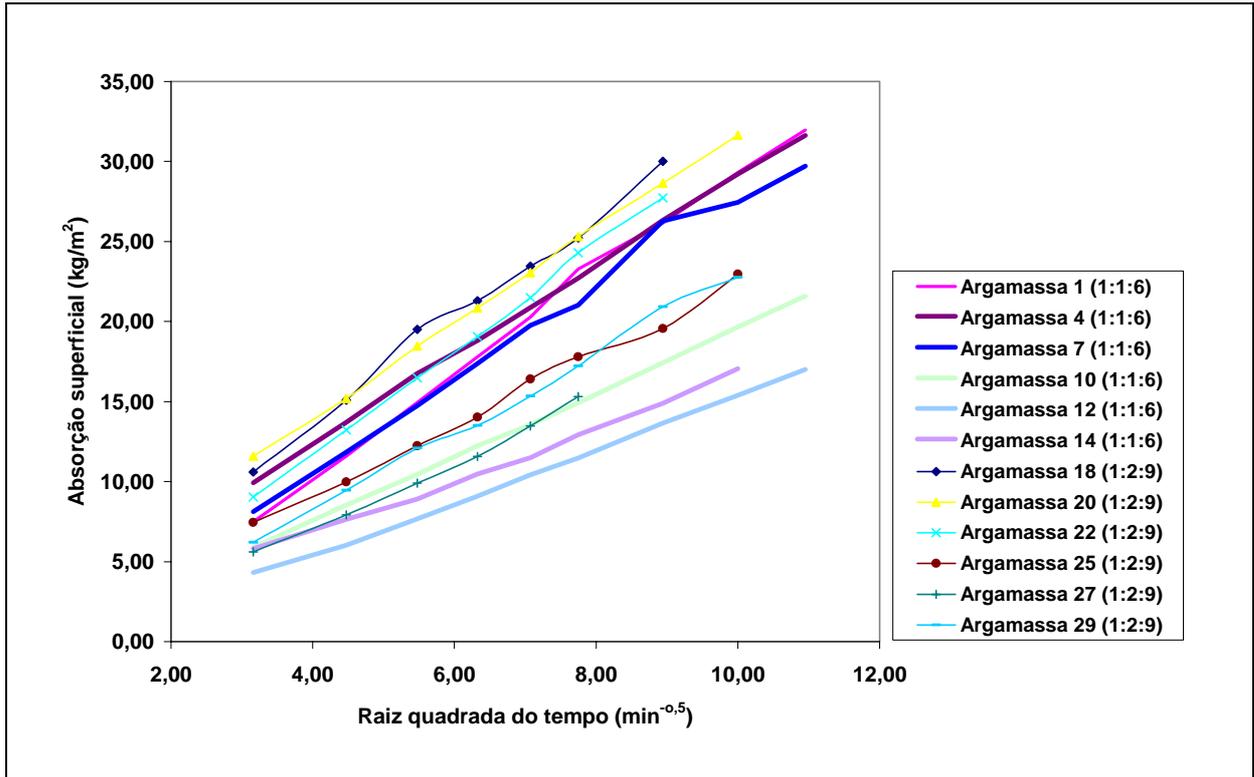


Figura 37 – Absorção capilar das argamassas com proporção de mistura 1: 1 : 6 e 1:2:9 (volume), com areia de pedra.

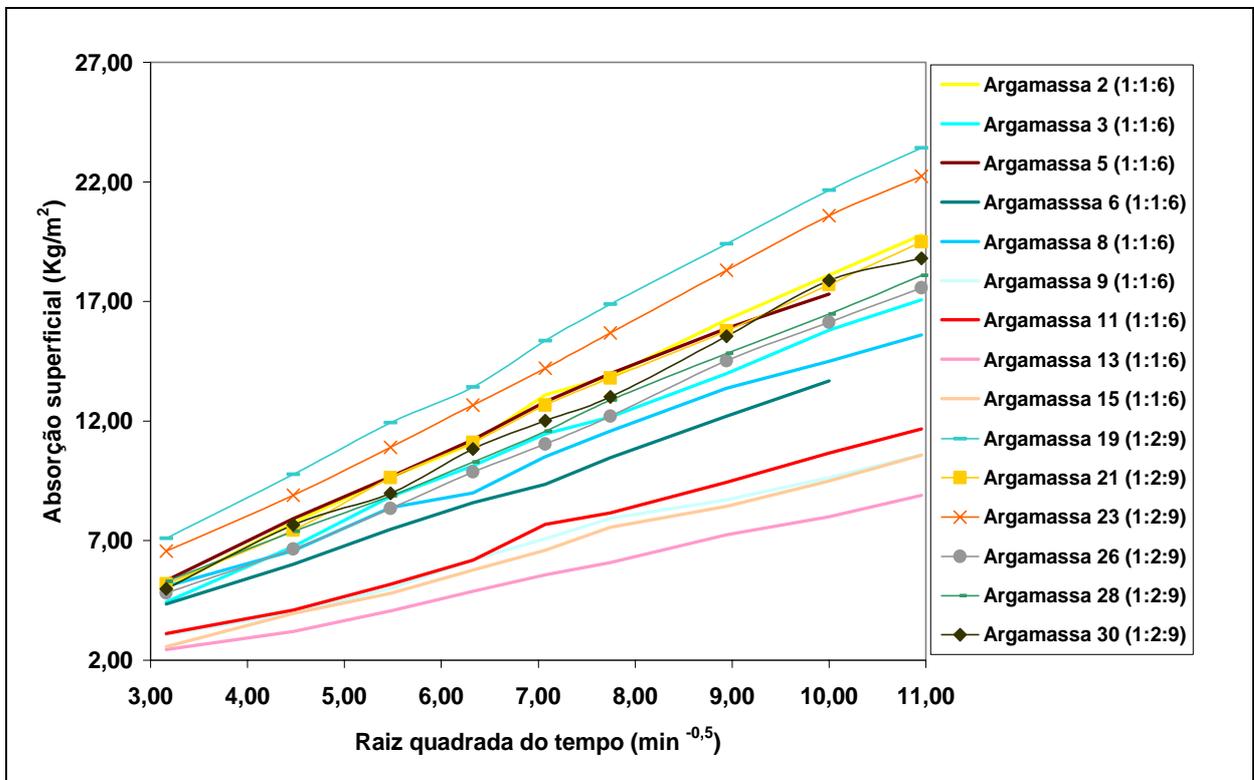


Figura 38 – Absorção capilar das argamassas com proporção de mistura 1: 1 : 6 e 1:2:9 (volume), com areia de duna.

Os coeficientes de capilaridade das argamassas obtidos nos gráficos acima estão descritos nas Tabelas 60 e 61, onde as argamassas com proporção de mistura 1:1:6 sempre apresentam os menores coeficientes, indicando, a influência dos teores de cimento e de agregado. Esta conclusão está representada na Figura 39, onde se plotam os coeficientes de capilaridade e o teor de areia na argamassa total.

Uma constatação importante é que, com o aumento do teor de agregado (em massa), houve uma diminuição do coeficiente de absorção capilar para todas as areias analisadas, inclusive as areias de rio que Tristão (1995) analisou. Esta constatação, inicialmente contraditória, deve ser acompanhada da análise da variação no conteúdo de água, índice de vazios e teor de aglomerantes nas argamassas quando do acréscimo da areia na argamassa pois, com o aumento da continuidade das areias, houve uma redução da quantidade de água e uma diminuição no índice de vazios e teor de aglomerantes.

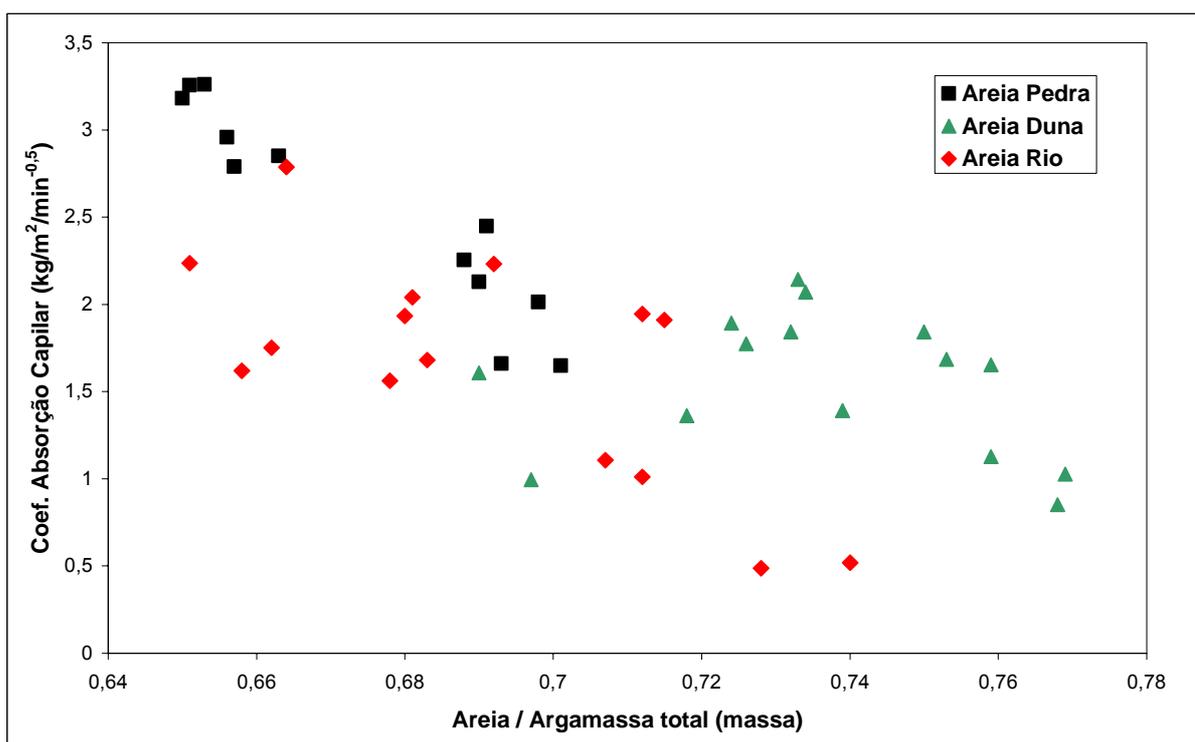


Figura 39 – Variação da absorção capilar das argamassas com a relação areia/argamassa.

Na Figura 40, onde se apresenta o gráfico da variação do coeficiente capilar das argamassas com o teor de pasta, observa-se que, com o aumento deste teor, ocorre um aumento da absorção por capilaridade das argamassas.

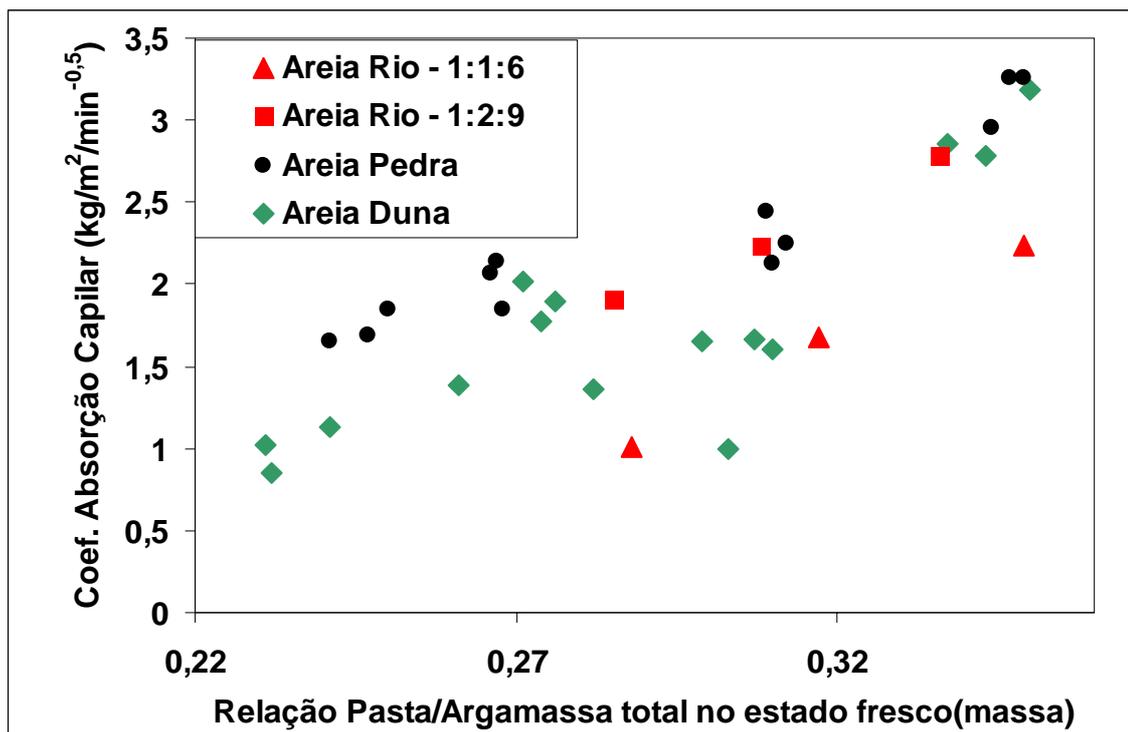


Figura 40 – Variação da absorção capilar das argamassas com a relação pasta/argamassa.

Na Figura 41 apresenta-se a variação dos coeficientes de capilaridade com a relação água/materiais secos das argamassas. O tipo de areia utilizado teve uma significativa influência na absorção de água por capilaridade, sendo que, quando se utiliza areia de pedra, maiores são os coeficientes quando comparadas com argamassas produzidas com areia de duna, tanto para a proporção de mistura 1:1:6, quanto para 1:2:9 em volume.

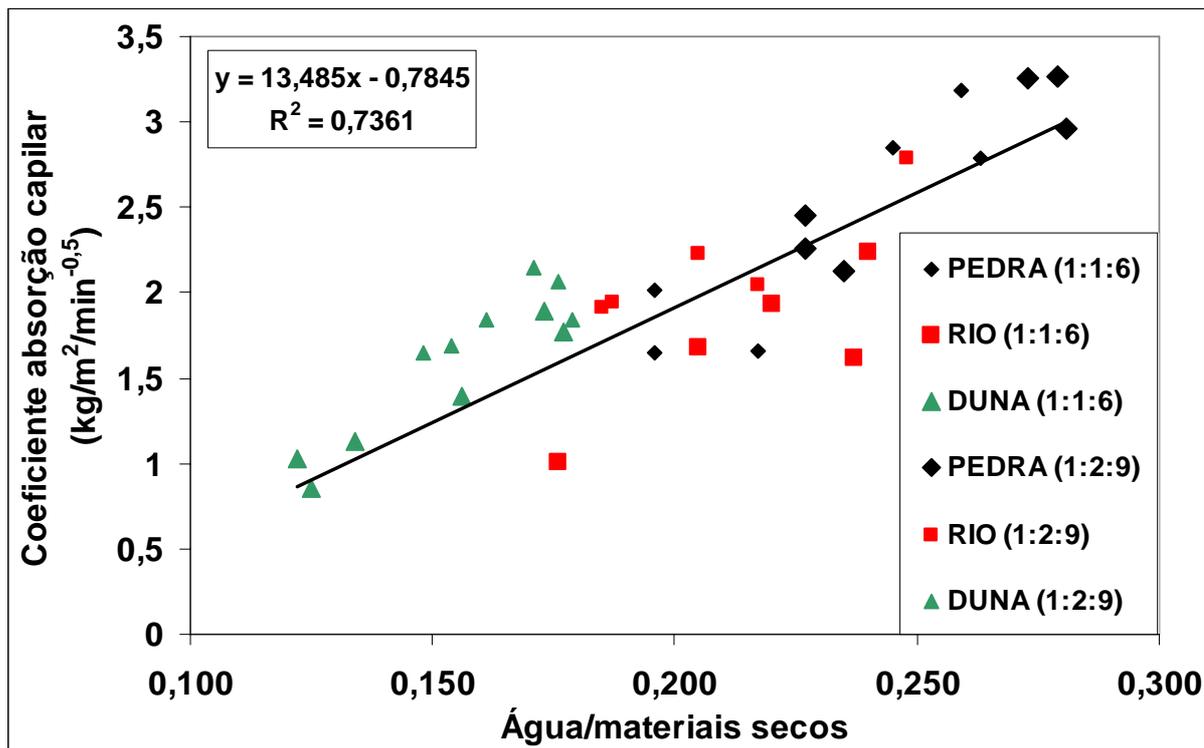


Figura 41 – Variação da absorção capilar das argamassas com a relação água/materiais secos.

4.4.3 Resistências mecânicas das argamassas

A seguir são feitas as análises nas propriedades mecânicas das argamassas, cujos resultados médios estão descritos nas Tabelas 60 e 61 anteriormente apresentadas.

Apresentam-se as Figuras 42, 43 e 44 com as variações das resistências mecânicas das argamassas em relação ao conteúdo de água das argamassas, expresso em termos da relação água/materiais secos. Observa-se que, para todas as argamassas existe correlação entre as variáveis, sendo que, quanto menor o conteúdo de água, maior a resistência mecânica. Esta correlação é mais evidente para as argamassas com proporção de mistura 1:1:6 em volume.

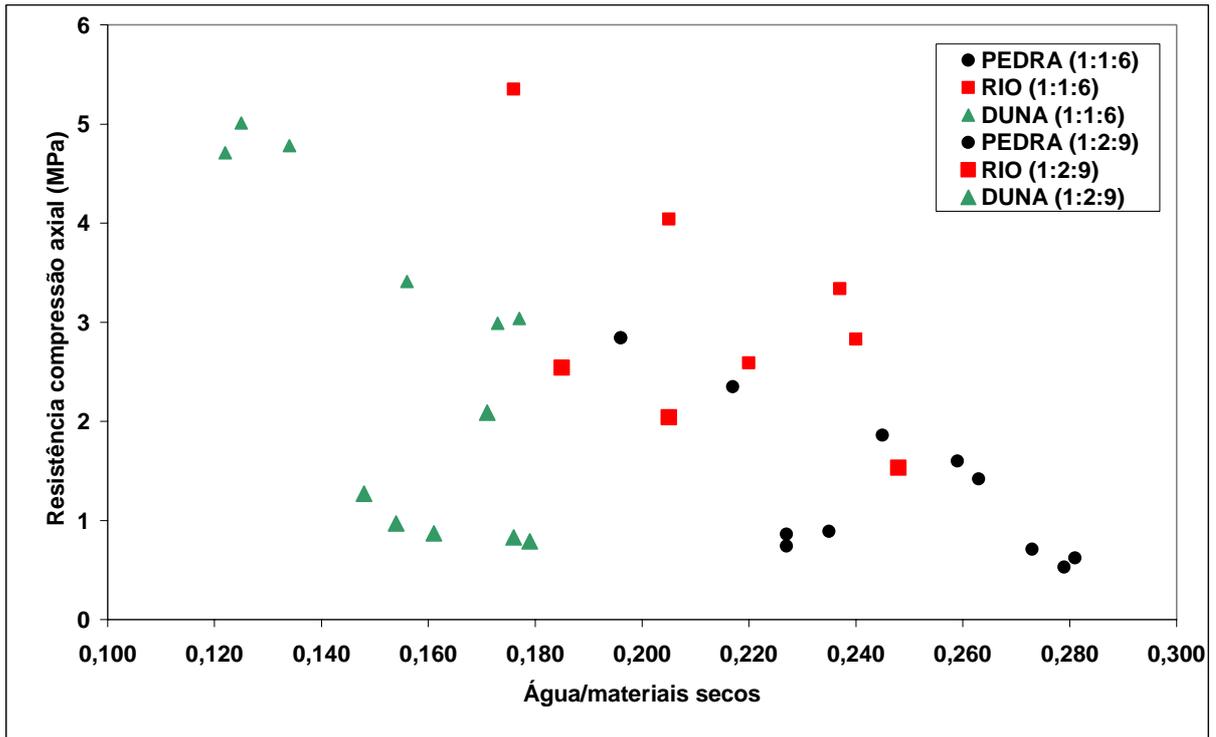


Figura 42 – Variação da resistência à compressão axial das argamassas com a relação água/materiais secos.

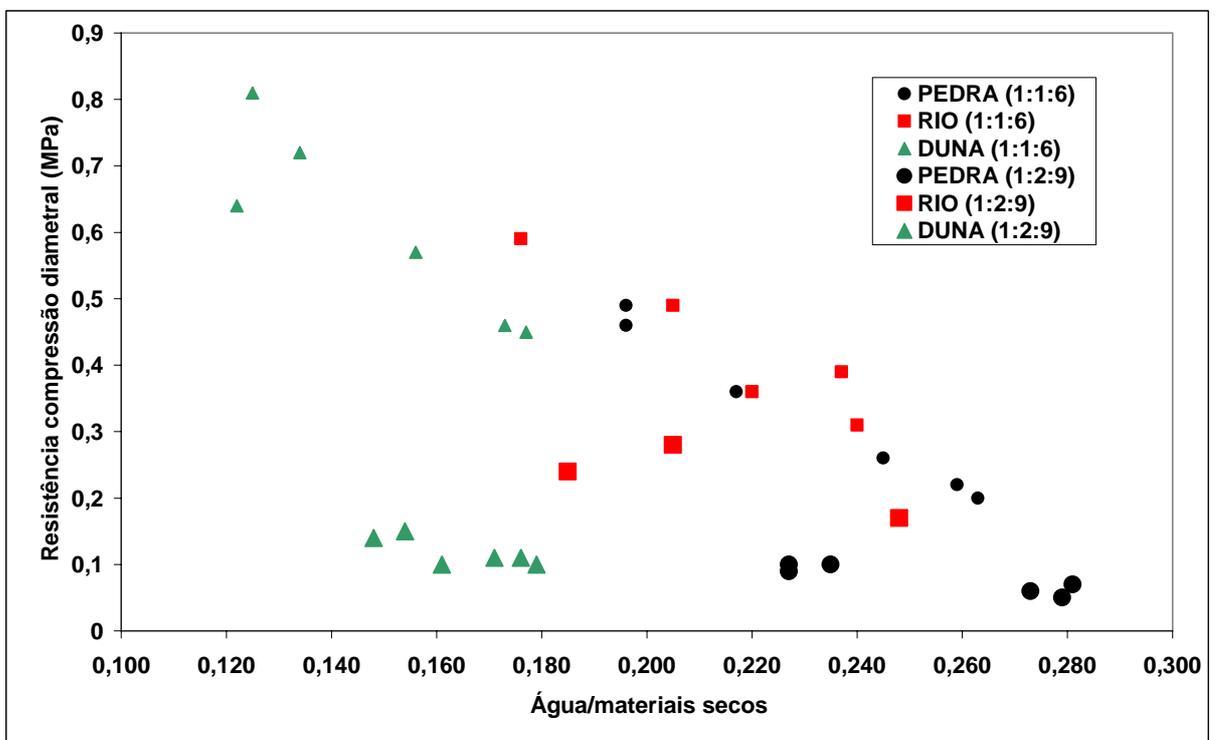


Figura 43 – Variação da resistência à tração por compressão diametral das argamassas com a relação água/materiais secos.

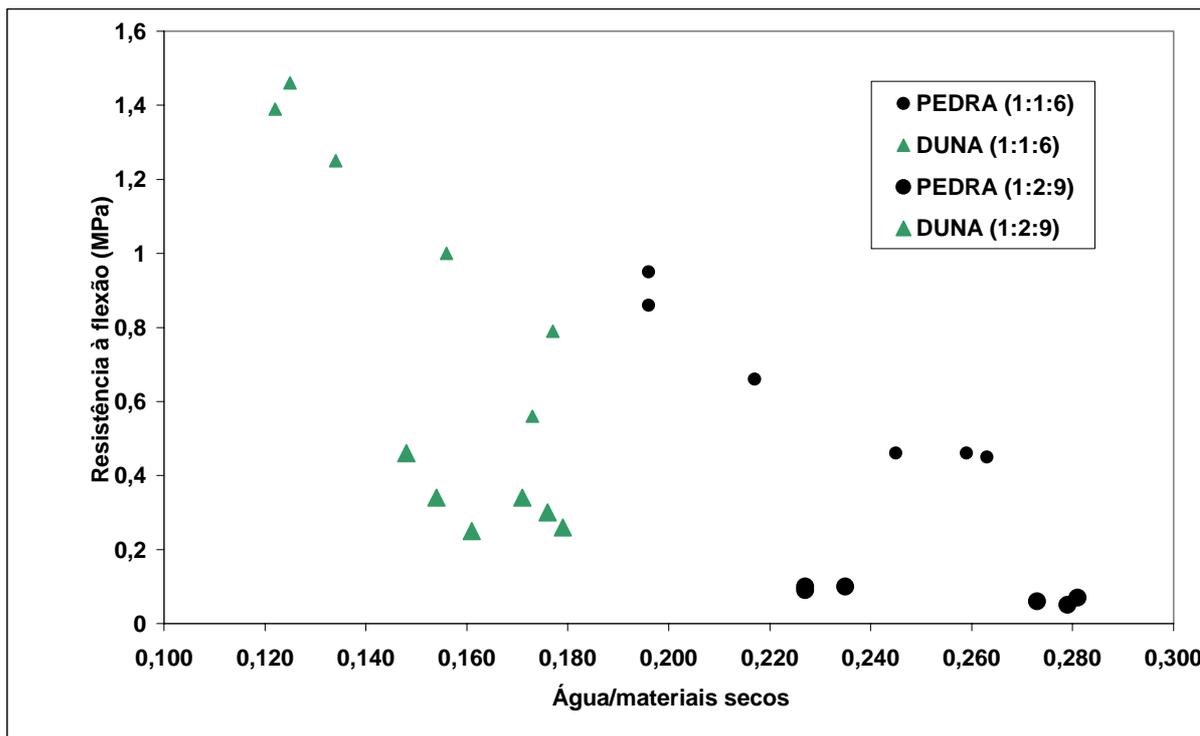


Figura 44 – Variação da resistência à flexão das argamassas com a relação água/materiais secos.

Ao se avaliar a variação da resistência à compressão axial das argamassas com o coeficiente de uniformidade das areias, que é uma forma de expressar a distribuição granulométrica das areias, observa-se que as resistências tendem a aumentar com o aumento do coeficiente de uniformidade, fato este já comprovado por Tristão (1995) e Carneiro (1999). Esta constatação se deve à diminuição do índice de vazios das areias, que tornam as argamassas com maior compacidade.

Como foram relatados nas análises dos ensaios no estado fresco, os parâmetros texturais interferem no índice de vazios das areias, que se traduzem em variações no consumo de água das argamassas que alteram as resistências mecânicas, sendo que areias mais arredondadas e esféricas produzem argamassas com maiores resistências mecânicas quando se avaliam argamassas com mesmas proporções em volume. Na Figura 45 se observa a variação da resistência à compressão axial das argamassas com o índice de vazios das mesmas. São identificadas em vermelho as argamassas produzidas com areia de pedra para se evidenciar a diferença obtida nas resistências das argamassas função do tipo de areia utilizado.

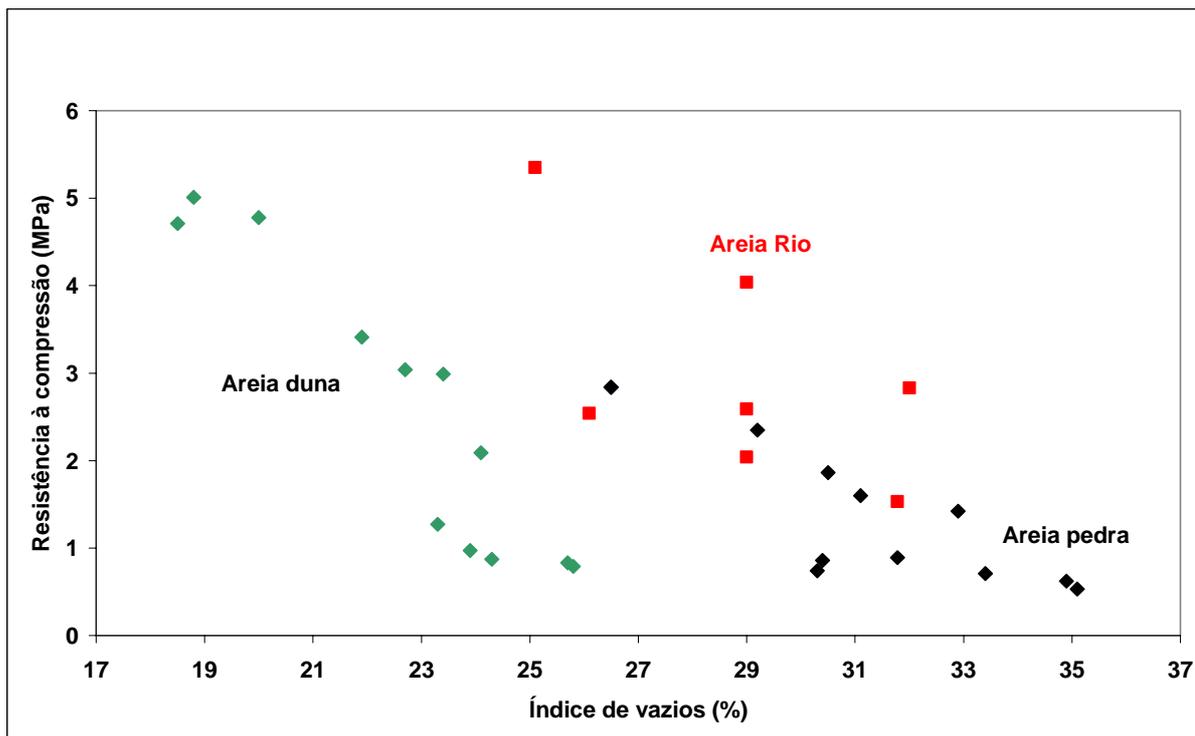


Figura 45 – Variação da resistência à compressão axial das argamassas com o índice de vazios.

A variação da resistência à tração por compressão diametral com a resistência à compressão axial das argamassas foi avaliada por Martinelli (1989) e também por Tristão (1995), que obtiveram correlações entre as variáveis. Na Figura 46 apresenta-se as variações destas resistências para as argamassas com areias de duna e de pedra, nas proporções 1:1:6 e 1:2:9, onde também foi obtida esta correlação, indicando que se pode estimar a resistência à compressão diametral das argamassas a partir de sua resistência à compressão axial.

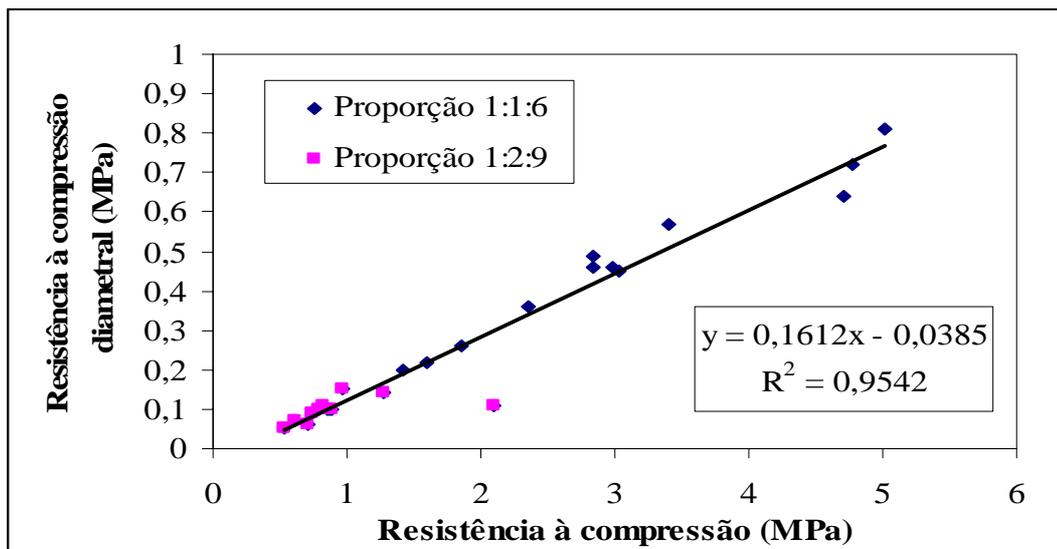


Figura 46 – Variação da resistência à compressão axial com a resistência à compressão diametral das argamassas.

Quando se avalia a relação da resistência à flexão pela resistência à compressão axial, a média dessas relações é maior para as argamassas que utilizaram areia de pedra, indício de que a areia de pedra, em função da sua textura superficial mais rugosa, possui maior área de contato pasta/agregado, o que propicia um aumento na aderência da pasta/agregado. Esta mesma constatação se verifica para a relação entre a resistência à flexão e a resistência à compressão diametral. Mas estas constatações só foram observadas para as argamassas produzidas na proporção de mistura 1:1:6 em volume, sendo que, para as argamassas de menores resistências mecânicas, de proporção de mistura 1:2:9 em volume, o aumento da ancoragem mecânica produzida pelas irregularidades superficiais das areias de pedra não foi suficiente para afetar as relações entre as resistências.

Ao se analisar o módulo de deformação das argamassas, observa-se que existe correlação com a relação água/materiais secos, assim como ocorreu para todas as resistências mecânicas, o que pode ser visualizado na Figura 47. Outra constatação foi que, quando se avalia a relação do módulo de deformação pela resistência à compressão axial, as argamassas de proporção de mistura 1:2:9 em volume apresentaram maiores relações do que as argamassas 1:1:6, que significa proporcionalmente um aumento do módulo em relação a resistência à compressão axial destas argamassas.

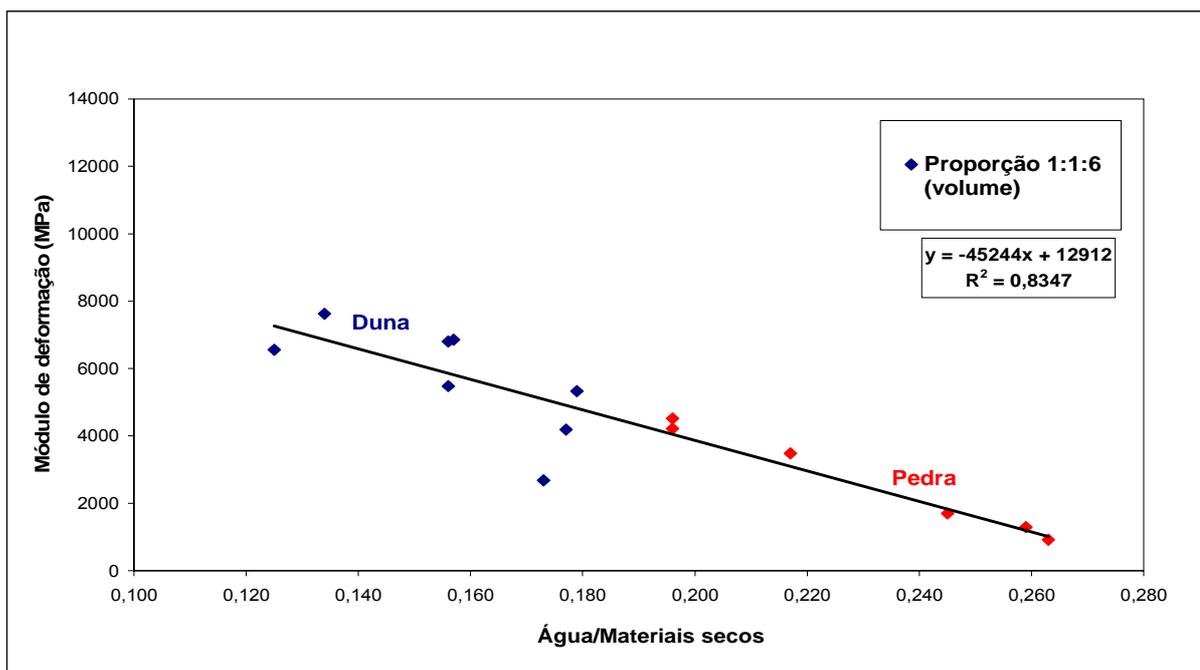


Figura 47 – Variação do módulo de deformação das argamassas com a relação água/materiais secos.

Encontrou-se também correlação do módulo de deformação com a resistência à flexão para todas as argamassas analisadas, o que pode ser visualizado na figura 48.

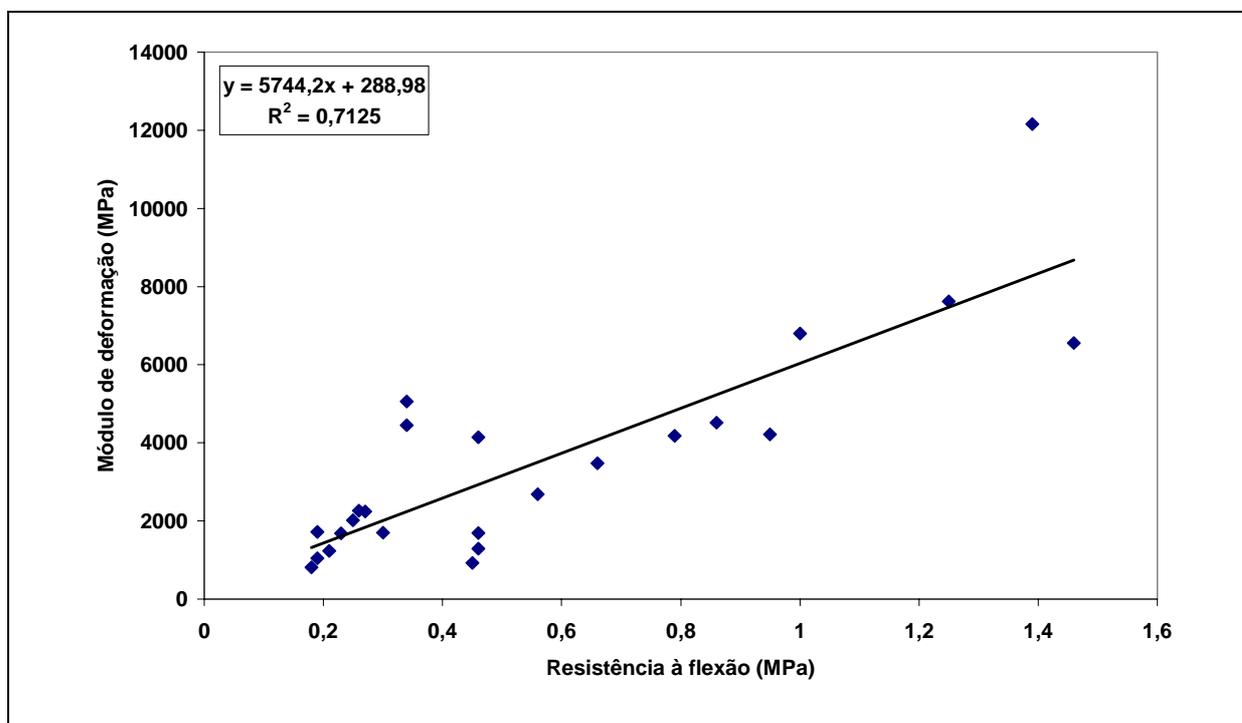


Figura 48 – Variação do módulo de deformação das argamassas com a resistência à flexão.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

As normas de especificação das areias para argamassas de revestimento mencionam a distribuição granulométrica e fazem recomendações sobre os grãos serem arredondados e lisos. Considerando os resultados obtidos neste trabalho, as areias deverão ser caracterizadas quanto aos seus parâmetros texturais, que são a forma e a textura dos grãos, além da sua composição granulométrica. A pesquisa mostrou que estes parâmetros interferem nas propriedades das argamassas de revestimento e, portanto, devem ser consideradas na caracterização das areias.

A forma dos grãos da areia para argamassas de revestimento deve ser representada através da determinação do arredondamento, da esfericidade e do fator de forma, enquanto a textura através da dimensão fractal da rugosidade.

A análise de imagem se mostrou uma poderosa ferramenta para auxiliar na determinação destes parâmetros texturais, tendo em vista a facilidade de automação dos dados. O método utilizado na aquisição da imagem e a quantificação da área, perímetro e maior dimensão da projeção do grão se mostrou eficiente para classificar os grãos quanto à forma e textura. Areias de origens diversas apresentaram diferentes coeficientes de arredondamento e esfericidade, onde se conclui que a adoção deste método de ensaio pode servir como ferramenta para classificação quanto à forma das areias para argamassas de revestimento.

A solução adotada na fixação dos grãos para aquisição da imagem se mostrou eficiente, tendo em vista que, na análise estatística, a dispersão dos resultados não apresentou tendência a planos preferenciais dos grãos, evitando erros na aquisição dos dados referentes à projeção dos grãos. Esta solução também não necessita de alta tecnologia, podendo ser utilizada em laboratórios de pequeno porte, sem a necessidade de grande aporte de recursos instrumentais.

Quanto à análise das frações que compõem as areias, a série principal de peneiras se mostrou muito eficiente, com grande refinamento na análise da distribuição granulométrica, onde se concluiu que esta série deve ser adotada nos estudos de caracterização das areias para argamassas.

O método de ensaio da ASTM C para determinação da massa unitária no estado solto se mostrou sensível para frações menores do que 4,75 mm e maiores do que 0,075 mm.

A distribuição granulométrica da areia representada pelo seu coeficiente de uniformidade apresenta uma correlação com o volume de vazios das areias onde, areias muito uniformes conduzem a menor compactidade, enquanto que areias desuniformes que apresentam os maiores coeficientes de uniformidade são as que apresentam os menores volumes de vazios.

O tamanho dos grãos, expressos na forma de fração granulométrica, altera o volume de vazios, sendo que, quanto maior a fração, menor o volume de vazios.

Ficou demonstrado que o arredondamento dos grãos que compõem uma areia afeta a compactidade, alterando o volume de vazios, sendo que, quanto mais arredondado os grãos, maior a compactidade. Conclusão esta que se aplica também à esfericidade dos grãos.

A área específica das areias foi alterada pelos parâmetros texturais dos grãos, sendo que grãos mais rugosos fornecem maiores áreas específicas, considerando a mesma distribuição granulométrica em massa, mas não foi possível estabelecer uma correlação da área específica da areia com o empacotamento dos grãos. A hipótese inicial de que a área específica das areias apresenta uma correlação com a quantidade de água usada nas argamassas não se confirmou.

Conclui-se que areias com diferentes composições granulométricas irão conduzir a diferenças no índice de vazios das areias, e também que os parâmetros texturais dos grãos que compõem estas areias exercem uma forte influência no índice de vazios, e com mais intensidade do que a distribuição granulométrica e em geral, quanto maior a esfericidade, arredondamento e fator de forma dos grãos, menores os índices de vazios das areias.

O empacotamento das partículas está associado tanto à fração quanto à forma do grão, e como a quantidade de grãos em cada fração depende da forma do grão, considerando a mesma massa específica, o conhecimento da distribuição granulométrica em termos de números de grãos é um dado importante no desenvolvimento de areias com os menores vazios de volume, que irão produzir argamassas com menores consumos dos aglomerantes cimento e cal hidratada.

As propriedades das argamassas no estado fresco foram alteradas em função dos parâmetros texturais das areias sendo que, quanto mais arredondado, esférico e

menos rugosa a textura superficial, menor a quantidade de pasta das argamassas, o que implica em menor consumo de aglomerantes e de água de amassamento.

Argamassas com areia de pedra exigem maior quantidade de pasta e de água de amassamento, que implicam em maior retração plástica, menores retenção de água e de consistência das argamassas.

As argamassas no estado endurecido apresentaram variações em suas propriedades, em função principalmente das relações água/materiais secos, sendo que, quanto maiores estas relações, menores as resistências mecânicas, maior a absorção de água por imersão e por capilaridade.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Sugerem-se os seguintes tópicos para pesquisas referentes às areias para argamassas, e também para os revestimentos argamassados:

- Determinação dos parâmetros texturais dos grãos menores do que 75 μm ;
- Determinação dos parâmetros texturais de areias artificiais resultantes do britamento de rochas calcárias e de basalto;
- Determinação da dimensão fractal da rugosidade de grãos de areias de outras procedências para ampliação do estudo apresentado neste trabalho;
- Avaliação da retração de revestimentos argamassados aplicados em substratos porosos;
- Estudos referentes à determinação de área específica dos materiais com grãos menores do que 75 μm , a partir da análise de imagens.

REFERÊNCIAS

ABDEL-JAWAD, Yahia A.; ABDULLAH, Waddah Salman. Design of maximum density aggregate grading. **Construction and Building Materials**, v. 16, n. 8, p. 495-508, dez. 2002.

AGREGADOS: areia pode alterar as propriedades do concreto. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 74, p. 64-65, maio 2003.

AGREGADOS: quanto mais perto, melhor. **Minérios & Minerales**, São Paulo, v. 20, n. 251, ago. 2000.

ALBINO, Jacqueline. **Morfodinâmica e processos de sedimentação das praias da Barra e São José do Barreto, Macaé - RJ**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard methods of sampling and testing brick and structural clay tile**. Philadelphia, ASTM: 1986.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test methods for index of aggregate particle shape and texture**. Philadelphia, ASTM: 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test methods for uncompacted void content of fine aggregate**: as influenced by particle shape, surface texture, and grading. Philadelphia, ASTM: 1993.

ARAÚJO, Georgia Serafim. **Estudos de parâmetros textuais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5734**: peneiras para ensaio com telas de tecido metálico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 6508**: grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm: determinação da massa específica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7175**: cal hidratada para argamassas: especificação. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7211**: agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7217**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7251**: agregado em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7389**: apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7809**: agregado graúdo: determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 9206**: cal hidratada para argamassas: determinação da plasticidade. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 9287**: argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto: determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 10836**: bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 11578**: cimento Portland composto: especificação. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 13276**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos: determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13277**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos: determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13278**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13279**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR NM 30**: agregado miúdo: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 76**: cimento Portland: determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar - método de blaine. Rio de Janeiro, 1998.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BALAZS R. J.; KLEIN, G. V. Roundness-mineralogical relations of some intertidal sands. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 42, n. 2, p. 425–433, 1972.

BEAL, M. Allan; SHEPARD, Francis P. A use of roundness to determine depositional environments. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 26, n. 1, p. 49–60, 1956.

BRIGGS, C.; EVERTSSON, C. M. Shape potential of rock. **Minerals Engineering**, v. 11, n. 2, p. 125–132, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 4551**: methods of testing mortars, screeds and plasters: physical testing – Part 1. London, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS EN 196-1**: methods of testing cement: determination of strength. London, 1995.

BRZEZICKI, M. J.; KASPERKIEWICZ, J. Automatic image analysis in evaluation of aggregate shape. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 13, n. 2, p. 123–128, 1999.

CALHAU, E. L. **Argamassas de revestimento com aditivo incorporador de ar: propriedades e recomendações**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

CAMPITELI, V. C.; MASSARETTO, R.; RODRIGUES, P. T. Dosagem experimental de argamassas mistas a partir de cal virgem moída. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p.73-82.

CARASEK, Helena. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação. 1996. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 1999. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CARR, J. R.; MISRA, M.; LITCHFIELD, J. Estimating surface area for aggregate in the size range 1 mm or larger. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1362, p. 20-27, 1992.

CARR, J. R.; NORRIS, G. M.; NEWCOMB, D. E. Characterization of aggregate shape using fractal dimension. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1278, p. 43-50, 1990.

CATACOSINOS, Paul A. Tables for the determination of sphericity and shape of rock particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 35, n. 2, p. 354 – 365, 1965.

CINCOTTO, M. A. C.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. **Boletim IPT**, São Paulo, n. 68, 1995.

COSTER, M.; CHERMANT, J. L. Image analysis and mathematical morphology for civil engineering materials. **Cement and Concrete Composites**, v. 23, p. 133-151, 2001.

COUTINHO, A. de Souza. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: LNEC, 1973.

CURRIE, Drew Wallace. **Survey of Scottish sands and the investigation of their characteristics in relation to the compressive strength of mortar**. 1980. Thesis (Master of Philosophy) – University of Edinburgh, Edinburgh, 1980.

D'AGOSTINHO, Liz Z.; SOARES, Lindolfo. Preparo de argamassas com emprego de finos de pedra. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2001. p. 376-387.

DONZA, H.; CABRERA, O.; IRASSAR, E.F. High-strength concrete with different fine aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 11, p. 1755-1761, nov. 2002.

DROLON, Hervé et al. Analyse par ondelettes de la rugosité des grains de sable. **Sciences de La Terre et des Planets: Earth & Planetary Sciences**. n. 328, p. 457-461, 1999.

ENGINEERING SIMULATION AND SCIENTIFIC SOFTWARE (ESSS). Imago. Versão 2.1. Florianópolis: ESSS, 2000.

FERNANDES, Celso P. **Estudo dos processos de condensação e migração de umidade em meios porosos consolidados**: análise experimental de uma argamassa de cal e cimento. 1990. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

FERNLUND, Joanne M. R. The effect of particle form on sieve analysis: a test by image analysis. **Engineering Geology**, v. 50, n. 1/2, p. 111-124, set. 1998.

FLETCHER R. A; BRIGHT, D. S. Shape factors of ISO 12103-A3: medium test dust. **Filtration & Separation**, v. 37, n. 9, p. 49-56, nov. 2000.

FOLK, Robert L. A review of grain-size parameters. **Sedimentology**, v. 6, p. 73-93, 1966.

GLEIZE, P. J. P.; MÜLLER, A.; ROMAN, H. R. Microstructural investigation of a silica fume-cement-lime mortar. **Cement & Concrete Composites**, v. 25, n. 2, p. 171-175, fev. 2003.

GLENCROSS-GRANT, R.; WALKER, P. Survey of building sands in Austrália. **Construction and Building Materials**, v. 17, n. 4, p. 259-268, jun. 2003.

GOMES, Adailton de Oliveira; NEVES, Célia Maria Martins. Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., Brasília, 2001. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 291-304.

HYSLIP, J. P.; VALLEJO, L. E. Fractal analysis of the roughness and size distribution of granular materials. **Engineering Geology**, v. 48, n. 3/4, p. 231-244, dez. 1997.

JOHN, Vanderley M. Construção e desenvolvimento sustentável. **Qualidade na construção**, São Paulo, ano 3, n. 23, p. 34-44, 2000.

JOHN, Vanderley M. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** Brasília: EPUSP/ANTAC, 2003. p. 387-394.

KANDHAL, Prithvi S.; MOTTER, John B.; KHATRI, Maqbool A. Evaluation of particle shape and texture: manufactured versus natural sands. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1301, p. 48-56, 1991.

KAYE, B. H. The description of two-dimensional rugged boundaries in fineparticle science by means of fractal dimensions. **Powder Technology**, v. 46, n. 2/3, p. 245-254, abr./maio 1986.

KHEDAYWI, Taisir S.; TONS, Egons. Aggregate rugosity and size effect on bituminous mixes. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1619, p. 26-36, 1998.

KJELLEN, K. O. et al. Preparation of flat-polished specimens for sem-backscattered electron imaging and x-ray microanalysis: importance of epoxy impregnation. **Cement and Concrete Research**, v. 33, n. 4, p. 611-616, abr. 2003.

KRUMBEIN, W. C. A history of the principles and methods of mechanical analysis. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 2, n. 2, p. 89-124, 1932.

KWAN, A. K. H.; MORA, C. F.; CHAN, H. C. Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing. **Cement and Concrete Research**, v. 29, n. 9, p. 1403-1410, set. 1999.

MACLEOD, N. Geometric morphometrics and geological shape-classification systems. **Earth Science Reviews**, v. 59, n. 1/4, p. 27-47, nov. 2002.

MARTINELLI, Frederico A. **Contribuição ao estudo de dosagem de argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias**. 1989. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: PINI, 1994.

MOGAWER, Walaa S.; STUART, Kevin D. Evaluation of test methods used to quantify sand shape and texture. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1362, p. 28-37, 1992.

MORA, C. F.; KWAN A. K. H.; CHAN, H. C. Particle size distribution analysis of coarse aggregate using digital image processing. **Cement and Concrete Research**, v. 28, n. 6, p. 921-932, jun. 1998.

MORA, C. F.; KWAN, A. K. H. Sphericity, shape factor and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 3, p. 351-358, mar. 2000.

NAKAKURA, Elza Hissae; CINCOTTO, Maria Alba. Revisão de norma NBR 13581 como instrumento para melhor representar o desempenho de argamassas industrializadas em obra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: EPUSP/ANTAC, 2001. p. 387–394.

NATIONAL BUILDING RESEARCH INSTITUTE (NBRI). **Sea sand as aggregate for concrete, mortar and plaster**. Pretoria, 1975. 3 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. 1. ed. São Paulo: PINI, 1982.

O'REILLY DÍAZ, Vitervo. **Métodos para dosificar mezclas de hormigón**. Cuba: Editorial Científico-Técnica, 1990.

PARKIN, R. M.; CALKIN, D. W. Intelligent optomechatronic instrumentation for on-line inspection of crushed rock aggregates. **Minerals Engineering**, v. 8, n. 10, p. 1143-1150, out. 1995.

PERSSON, Anna-Lena. Image analysis of shape and size of fine aggregates. **Engineering Geology**, v. 50, n. 1/2, p. 177-186, set. 1998.

PILEGGI, Rafael G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários**. 2001. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

PINTO, J. A. N. **Elementos para dosagem de argamassas**. Santa Maria: UFSM, 1986.

POPP, José Henrique. **Geologia geral**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

RAO, G. Appa; PRASAD, B. K. Raghu. Influence of the roughness of aggregate surface on the interface bond strength. **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 2, p. 253-257, fev. 2002.

SCARLETT, Brian. Particle populations: to balance or not to balance, that is the question! **Powder Technology**, v. 125, n. 1, p. 1-4, 13 maio 2002.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. 1989. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SINGH, B. G. Effect of the specific surface of aggregates on consistency of concrete. **Journal of the American Concrete Institute**, v. 28, n. 10, p. 989-997, 1957.

SINGH, B. G. Specific surface of aggregates applied to mix proportioning. **Journal of the American Concrete Institute**, v. 30, n. 8, p. 893-901, 1959.

SINHA, Braj P. Survey of Scottish sands and their characteristics which affect the mortar strength. **International Journal of Masonry Construction**, Edinburgh, v. 2, n.1, p. 2-12, 1981.

STOVALL, T.; DE LARRARD, F.; BUIL, M. Linear packing density model of grain mixtures. **Powder Technology**, v. 48, n. 1, p. 1-12, set. 1986.

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília: DNPM, v. 22, 2002. ISSN 0101-2053. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2002/sumariomineral2002.htm>>. Acesso em: 04 ago. 2003.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília: DNPM, v. 23, 2003. ISSN 0101-2053. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/sumariomineral2003.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2003.

TASONG, W. A.; LYNSDALE, C. J.; CRIPPS, J. C. Aggregate-cement paste interface II: influence of aggregate physical properties. **Cement and Concrete Research**, v. 28, n. 10, p. 1453-1465, out. 1998.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. Proposta de procedimento de ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p. 437-444.

TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TUCKER R. W.; VACHER, H. L. Effectiveness of discriminating beach, and river sands by moments and the cumulative weight percentages. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 50, n. 1, p. 165-172, 1980.

VIANNA, Marcos R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 3. ed. Belo Horizonte: IMPRIMATUR, 1997.

WENTWORTH, Chester K. Methods of mechanical analysis of sediments. **Studies in Natural History**, Iowa, v. 11, n.11, 1926

WERNER, A. M.; LANGE, D. A. Quantitative image analysis of masonry mortar microstructure. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 13, n. 2, p. 110-115, 1999.

WINKELMOLEN, A. M. Critical remarks on grain parameters, with special emphasis on shape. **Sedimentology**, v.29, p. 255-265, 1982.

YU, A. B., STANDISH, N. Characterisation of non-spherical particle form their packing behaviour. **Powder Technology**, v. 74, n. 3, p. 205-213, mar. 1993.

YUNES, Pablo R. **Determinação da distribuição de poros de uma argamassa de cimento e cal usando as isotermas de equilíbrio e dados de microscopia eletrônica**. 1992. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1992.

ANEXOS

ANEXO A - RESULTADOS DE ENSAIOS NAS FRAÇÕES DAS AREIAS

Tabela A.1 - Massa específica dos grãos das areias.

Fração (mm)	Massa específica (kg/dm ³)		
	Areia Pedra	Areia Rio	Areia Duna
4,75 – 2,36	2,625	2,617	2,586
	2,624	2,622	2,608
2,36 – 1,18	2,599	2,612	2,597
	2,615	2,617	2,597
1,18 – 0,600	2,610	2,620	2,628
	2,628	2,618	2,643
0,600 – 0,300	2,612	2,619	2,634
	2,606	2,611	2,638
0,300 – 0,150	2,624	2,637	2,638
	2,623	2,629	2,638
0,150 – 0,075	2,626	2,633	2,635
	2,614	2,620	2,636
< 0,075	2,619	2,629	2,632
	2,630	2,625	2,640

Tabela A.2 - Massa unitária dos grãos das areias (ASTM C 1252 – 93)

Fração (mm)	Massa unitária (kg/dm ³)		
	Areia Pedra	Areia Rio	Areia Duna
4,75 – 2,36	1,382	1,491	1,728
	1,384	1,489	1,735
	1,383	1,492	1,720*
	1,392*	1,486	1,731
2,36 – 1,18	1,316	1,440	1,679
	1,312	1,447	1,674
	1,317	1,443	1,675
	1,323*	1,449*	1,681
1,18 – 0,600	1,238	1,340	1,620
	1,237	1,339	1,618
	1,234	1,338	1,617
	1,240	1,340	1,616
0,600 – 0,300	1,167	1,213	1,486
	1,166	1,214	1,486
	1,167	1,217	1,488
	1,165	1,216	1,489
0,300 – 0,150	1,148	1,202	1,458
	1,146	1,200	1,459
	1,147	1,202	1,457
	1,145	1,202	1,451*
0,150 – 0,075	1,113	1,228	1,433
	1,111	1,231	1,434
	1,112	1,230	1,435
	1,113	1,230	1,433
< 0,075**	1,014	0,863	0,875
	1,002	0,871	0,893
	1,007	0,851	0,890
	1,018	0,891	0,903

*Valor eliminado no cálculo da média por ultrapassar o desvio máximo permitido de 0,37%.

** Não foi possível determinar uma média que atendesse o desvio máximo permitido.

Tabela A.3 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **4,75 – 2,36 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	11,3613	13,8677	4,8782	0,7424	0,6079	3,8034	4,2020	0,7797
2	11,5189	13,9316	4,8790	0,7458	0,6161	3,8297	4,2117	0,7849
3	11,0502	13,9250	4,8913	0,7161	0,5881	3,7509	4,2107	0,7669
4	11,5482	14,1475	5,0087	0,7250	0,5861	3,8345	4,2442	0,7656
Média	11,3696	13,9680	4,9143	0,7323	0,5995	3,8046	4,2171	0,7743
Desvio padrão	0,2282	0,1231	0,0632	0,0141	0,0148	0,0383	0,0185	0,0095

Tabela A.4 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **4,75 – 2,36 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	8,2283	11,4236	3,8969	0,7923	0,6899	3,2367	3,8138	0,8306
2	9,7606	12,3811	4,2369	0,8002	0,6923	3,5253	3,9704	0,8320
3	8,6526	11,6707	3,9891	0,7983	0,6923	3,3192	3,8548	0,8321
4	9,8161	12,5195	4,3475	0,7870	0,6613	3,5353	3,9925	0,8132
Média	9,1144	11,9987	4,1176	0,7945	0,6839	3,4041	3,9079	0,8270
Desvio padrão	0,7976	0,5341	0,2100	0,0060	0,0152	0,1496	0,0871	0,0092

Tabela A.5 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **4,75 – 2,36 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	8,2954	10,6281	3,9045	0,9229	0,6928	3,2499	3,6786	0,8324
2	8,0970	10,9493	3,8495	0,8487	0,6957	3,2108	3,7338	0,8341
3	8,5823	11,9112	3,7152	0,7602	0,7917	3,3056	3,8943	0,8898
4	7,9837	11,7457	3,8269	0,7272	0,6941	3,1883	3,8672	0,8331
Média	8,2396	11,3086	3,8240	0,8147	0,7186	3,2387	3,7935	0,8473
Desvio padrão	0,2623	0,6182	0,0795	0,0885	0,0488	0,0514	0,1039	0,0283

Tabela A.6 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **2,36 – 1,18 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	4,3749	8,6003	3,0832	0,7433	0,5860	2,3601	3,3091	0,7655
2	3,8412	8,0379	2,8980	0,7471	0,5824	2,2115	3,1991	0,7631
3	3,8460	7,9603	2,8480	0,7627	0,6037	2,2129	3,1836	0,7770
Média	4,0207	8,1995	2,9431	0,7510	0,5907	2,2615	3,2306	0,7685
Desvio padrão	0,3067	0,3493	0,1239	0,0103	0,0114	0,0854	0,0684	0,0074

Tabela A.7 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **2,36 – 1,18 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	3,0001	6,8230	2,3569	0,8098	0,6876	1,9544	2,9474	0,8292
2	2,9226	6,6744	2,2961	0,8244	0,7058	1,9290	2,9151	0,8401
3	2,8363	6,6449	2,3038	0,8072	0,6804	1,9003	2,9087	0,8249
4	3,2102	7,0119	2,4168	0,8205	0,6998	2,0217	2,9880	0,8365
Média	2,9923	6,7886	2,3434	0,8155	0,6934	1,9514	2,9398	0,8327
Desvio padrão	0,1599	0,1681	0,0559	0,0083	0,0115	0,0518	0,0363	0,0069

Tabela A.8 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **2,36 – 1,18 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	2,6237	6,3316	2,2151	0,8224	0,6808	1,8277	2,8393	0,8251
2	2,5632	6,1822	2,1379	0,8428	0,7141	1,8065	2,8056	0,8450
3	2,4188	5,9980	2,0521	0,8449	0,7313	1,7549	2,7635	0,8552
4	2,1521	5,6373	1,9289	0,8510	0,7365	1,6553	2,6791	0,8582
Média	2,4395	6,0373	2,0835	0,8403	0,7157	1,7611	2,7719	0,8459
Desvio padrão	0,2100	0,2995	0,1227	0,0124	0,0251	0,0769	0,0692	0,0149

Tabela A.9 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **1,18 – 0,600 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,9215	3,9899	1,4195	0,7274	0,5822	1,0832	2,2539	0,7630
2	0,8719	3,9882	1,4105	0,6888	0,5580	1,0536	2,2534	0,7470
3	0,9257	4,1379	1,4620	0,6794	0,5514	1,0856	2,2953	0,7426
4	0,8232	3,9193	1,4208	0,6735	0,5192	1,0238	2,2339	0,7206
5	0,8203	3,7471	1,3197	0,7342	0,5997	1,0220	2,1843	0,7744
6	0,8153	3,8201	1,3465	0,7020	0,5726	1,0188	2,2054	0,7567
7	0,9350	4,1180	1,4648	0,6928	0,5548	1,0911	2,2898	0,7449
8	0,8054	3,7670	1,3067	0,7133	0,6006	1,0127	2,1900	0,7750
9	0,9507	4,0407	1,4204	0,7317	0,6000	1,1002	2,2682	0,7746
10	0,9729	4,1420	1,4592	0,7126	0,5817	1,1130	2,2965	0,7627
11	0,8189	3,8406	1,3570	0,6977	0,5662	1,0211	2,2113	0,7525
12	0,9582	4,1368	1,4610	0,7036	0,5716	1,1045	2,2950	0,7560
13	0,8688	3,9350	1,4111	0,7050	0,5555	1,0517	2,2384	0,7453
Média	0,8837	3,9679	1,4046	0,7048	0,5703	1,0601	2,2473	0,7550
Desvio padrão	0,0625	0,1435	0,0550	0,0190	0,0233	0,0375	0,0407	0,0155

Tabela A.10 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **1,18 – 0,600 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,9878	4,0867	1,4051	0,7433	0,6370	1,1215	2,2811	0,7981
2	0,9234	3,9246	1,3390	0,7534	0,6558	1,0843	2,2354	0,8098
3	0,9154	3,9670	1,3730	0,7310	0,6182	1,0796	2,2474	0,7863
4	0,9709	4,0639	1,4096	0,7388	0,6222	1,1118	2,2747	0,7888
5	1,0317	4,0962	1,4081	0,7727	0,6625	1,1461	2,2837	0,8140
6	0,8990	3,8491	1,3327	0,7625	0,6445	1,0699	2,2138	0,8028
7	1,0343	4,2444	1,5120	0,7214	0,5760	1,1475	2,3247	0,7590
8	1,0829	4,1501	1,3944	0,7901	0,7091	1,1742	2,2987	0,8421
9	1,1321	4,3472	1,5016	0,7528	0,6393	1,2006	2,3527	0,7995
10	1,0411	4,1228	1,4240	0,7697	0,6536	1,1513	2,2911	0,8085
11	1,2172	4,4803	1,4814	0,7620	0,7061	1,2449	2,3884	0,8403
12	1,1674	4,4944	1,5197	0,7262	0,6436	1,2191	2,3922	0,8022
13	1,2860	4,7570	1,6430	0,7141	0,6066	1,2796	2,4611	0,7788
Média	1,0530	4,1988	1,4418	0,7491	0,6442	1,1562	2,3112	0,8023
Desvio padrão	0,1200	0,2587	0,0865	0,0224	0,0364	0,0653	0,0706	0,0226

Tabela A.11 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **1,18 – 0,600 m**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,8320	3,5782	1,2417	0,8166	0,6871	1,0292	2,1344	0,8289
2	0,8279	3,5777	1,2540	0,8127	0,6703	1,0267	2,1343	0,8187
3	0,8177	3,5298	1,2126	0,8247	0,7080	1,0203	2,1200	0,8415
4	0,8324	3,5816	1,2315	0,8154	0,6989	1,0295	2,1355	0,8360
5	0,8682	3,6829	1,2842	0,8044	0,6703	1,0514	2,1655	0,8187
6	0,9608	3,8346	1,3085	0,8211	0,7145	1,1060	2,2096	0,8453
7	0,7942	3,4880	1,2136	0,8203	0,6865	1,0056	2,1074	0,8286
8	0,8304	3,6091	1,2559	0,8011	0,6703	1,0282	2,1437	0,8187
9	0,7744	3,4429	1,1604	0,8209	0,7322	0,9929	2,0937	0,8557
10	0,7704	3,4333	1,1640	0,8213	0,7239	0,9904	2,0908	0,8508
11	0,8722	3,6688	1,2504	0,8143	0,7102	1,0538	2,1613	0,8428
12	0,8010	3,5288	1,2149	0,8083	0,6909	1,0099	2,1197	0,8312
Média	0,8318	3,5796	1,2326	0,8151	0,6969	1,0287	2,1346	0,8347
Desvio padrão	0,0516	0,1120	0,0435	0,0073	0,0212	0,0314	0,0332	0,0127

Tabela A.12 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **0,600 – 0,300 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,2709	2,2274	0,7934	0,6862	0,5480	0,5873	1,6840	0,7402
2	0,2377	2,1293	0,7839	0,6589	0,4926	0,5502	1,6465	0,7018
3	0,2123	1,9269	0,6917	0,7186	0,5651	0,5199	1,5663	0,7517
4	0,2362	2,0137	0,7245	0,7319	0,5728	0,5484	1,6012	0,7568
5	0,2263	1,9429	0,6764	0,7532	0,6297	0,5367	1,5728	0,7935
6	0,2599	2,1085	0,7433	0,7347	0,5991	0,5753	1,6385	0,7740
7	0,2270	1,9895	0,7226	0,7207	0,5536	0,5376	1,5916	0,7440
8	0,2472	2,0690	0,7263	0,7256	0,5966	0,5610	1,6231	0,7724
9	0,2146	1,9170	0,6708	0,7339	0,6072	0,5227	1,5623	0,7793
10	0,2303	1,9906	0,7182	0,7303	0,5685	0,5415	1,5920	0,7540
11	0,2304	1,9988	0,7153	0,7248	0,5734	0,5416	1,5953	0,7573
12	0,2342	1,9715	0,6845	0,7571	0,6363	0,5460	1,5843	0,7977
13	0,2628	2,1404	0,7713	0,7208	0,5625	0,5784	1,6508	0,7500
14	0,2604	2,1591	0,7808	0,7019	0,5438	0,5758	1,6580	0,7374
15	0,2263	2,0036	0,7182	0,7085	0,5587	0,5368	1,5972	0,7475
16	0,2359	2,0816	0,7549	0,6842	0,5271	0,5481	1,6280	0,7260
17	0,2266	1,9589	0,6923	0,7422	0,6020	0,5372	1,5793	0,7759
18	0,2355	2,0077	0,7017	0,7341	0,6089	0,5476	1,5988	0,7803
19	0,2156	1,9821	0,7063	0,6897	0,5502	0,5239	1,5886	0,7418
Média	0,2363	2,0325	0,7251	0,7188	0,5735	0,5482	1,6084	0,7569
Desvio padrão	0,0168	0,0867	0,0371	0,0252	0,0358	0,0193	0,0341	0,0238

Tabela A.13 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **0,600 – 0,300 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,2952	2,2379	0,7713	0,7408	0,6319	0,6131	1,6880	0,7949
2	0,2947	2,2361	0,7777	0,7407	0,6205	0,6126	1,6873	0,7877
3	0,2673	2,1227	0,7285	0,7455	0,6413	0,5834	1,6440	0,8008
4	0,2761	2,1356	0,7455	0,7608	0,6325	0,5929	1,6490	0,7953
5	0,2595	2,0983	0,7385	0,7406	0,6057	0,5748	1,6345	0,7783
6	0,2651	2,0886	0,7251	0,7636	0,6419	0,5810	1,6307	0,8012
7	0,2543	2,0738	0,7304	0,7431	0,6069	0,5690	1,6249	0,7790
8	0,2600	2,0871	0,7208	0,7500	0,6372	0,5753	1,6302	0,7982
9	0,2543	2,0860	0,7194	0,7345	0,6257	0,5691	1,6297	0,7910
10	0,2659	2,1016	0,7228	0,7565	0,6480	0,5818	1,6358	0,8050
11	0,2792	2,1195	0,7338	0,7810	0,6601	0,5962	1,6428	0,8125
12	0,2527	2,0523	0,7020	0,7538	0,6529	0,5672	1,6165	0,8080
13	0,2552	2,0706	0,7074	0,7478	0,6492	0,5700	1,6237	0,8057
Média	0,2676	2,1162	0,7326	0,7507	0,6349	0,5836	1,6413	0,7967
Desvio padrão	0,0146	0,0582	0,0220	0,0125	0,0168	0,0158	0,0224	0,0105

Tabela A.14 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **0,600 – 0,300 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,1579	1,6205	0,5389	0,7555	0,6921	0,4484	1,4364	0,8319
2	0,1582	1,5663	0,5294	0,8104	0,7187	0,4488	1,4122	0,8478
3	0,1455	1,5096	0,5148	0,8023	0,6988	0,4304	1,3864	0,8360
4	0,1465	1,5247	0,5178	0,7919	0,6958	0,4319	1,3933	0,8341
5	0,1420	1,4948	0,5092	0,7989	0,6974	0,4253	1,3796	0,8351
6	0,1582	1,5806	0,5336	0,7956	0,7072	0,4488	1,4186	0,8410
7	0,1600	1,5939	0,5499	0,7914	0,6737	0,4513	1,4246	0,8208
8	0,1377	1,4616	0,4944	0,8102	0,7173	0,4188	1,3642	0,8470
9	0,1451	1,5159	0,5194	0,7936	0,6851	0,4299	1,3893	0,8277
10	0,1480	1,5193	0,5158	0,8057	0,7082	0,4341	1,3909	0,8416
Média	0,1499	1,5387	0,5223	0,7955	0,6994	0,4368	1,3995	0,8363
Desvio padrão	0,0080	0,0495	0,0159	0,0157	0,0140	0,0116	0,0225	0,0084

Tabela A.15 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **0,300 – 0,150 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,0568	0,9957	0,3574	0,7206	0,5668	0,2690	1,1259	0,7529
2	0,0610	1,0577	0,3816	0,6853	0,5334	0,2787	1,1605	0,7304
3	0,0590	1,0147	0,3608	0,7202	0,5770	0,2741	1,1366	0,7596
4	0,0610	1,0363	0,3719	0,7135	0,5614	0,2786	1,1487	0,7492
5	0,0524	0,9630	0,3439	0,7106	0,5647	0,2584	1,1073	0,7515
6	0,0599	1,0369	0,3734	0,7003	0,5472	0,2762	1,1490	0,7397
7	0,0577	1,0060	0,3542	0,7165	0,5855	0,2710	1,1317	0,7652
8	0,0673	1,0834	0,3863	0,7205	0,5742	0,2927	1,1745	0,7577
9	0,0613	1,0307	0,3588	0,7252	0,6062	0,2794	1,1455	0,7786
10	0,0631	1,0674	0,3884	0,6964	0,5331	0,2835	1,1658	0,7301
11	0,0634	1,0598	0,3871	0,7094	0,5388	0,2841	1,1616	0,7340
12	0,0624	1,0574	0,3802	0,7014	0,5495	0,2819	1,1603	0,7413
13	0,0671	1,0944	0,3873	0,7041	0,5695	0,2923	1,1804	0,7546
14	0,0548	0,9905	0,3573	0,7014	0,5461	0,2640	1,1230	0,7390
15	0,0498	0,9406	0,3396	0,7073	0,5497	0,2518	1,0943	0,7414
16	0,0529	0,9534	0,3380	0,7310	0,5893	0,2595	1,1018	0,7676
17	0,0683	1,0939	0,3901	0,7177	0,5719	0,2950	1,1802	0,7563
18	0,0536	0,9698	0,3459	0,7165	0,5708	0,2613	1,1112	0,7555
Média	0,0596	1,0251	0,3668	0,7110	0,5631	0,2751	1,1421	0,7503
Desvio padrão	0,0054	0,0486	0,0182	0,0114	0,0201	0,0126	0,0271	0,0133

Tabela A.16 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **0,300 – 0,150 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,0730	1,0970	0,3737	0,7627	0,6659	0,3050	1,1819	0,8160
2	0,0716	1,0704	0,3684	0,7849	0,6715	0,3019	1,1674	0,8195
3	0,0715	1,0847	0,3762	0,7638	0,6435	0,3018	1,1752	0,8022
4	0,0741	1,1094	0,3870	0,7568	0,6301	0,3072	1,1885	0,7938
5	0,0754	1,1152	0,3856	0,7617	0,6456	0,3098	1,1916	0,8035
6	0,0762	1,1137	0,3859	0,7716	0,6510	0,3114	1,1908	0,8069
7	0,0741	1,1052	0,3841	0,7621	0,6394	0,3071	1,1862	0,7996
8	0,0769	1,1120	0,3831	0,7812	0,6669	0,3128	1,1899	0,8166
9	0,0693	1,0712	0,3708	0,7593	0,6421	0,2971	1,1679	0,8013
10	0,0683	1,0839	0,3764	0,7308	0,6140	0,2949	1,1747	0,7836
11	0,0648	1,0327	0,3530	0,7641	0,6626	0,2873	1,1467	0,8140
12	0,0695	1,0722	0,3731	0,7600	0,6359	0,2975	1,1684	0,7975
Média	0,0721	1,0890	0,3764	0,7633	0,6474	0,3028	1,1774	0,8045
Desvio padrão	0,0036	0,0247	0,0098	0,0134	0,0171	0,0076	0,0134	0,0106

Tabela A.17 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **0,300 – 0,150 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,0390	0,7706	0,2602	0,8251	0,7334	0,2228	0,9905	0,8564
2	0,0393	0,7768	0,2644	0,8175	0,7150	0,2236	0,9945	0,8456
3	0,0395	0,7726	0,2617	0,8323	0,7348	0,2244	0,9918	0,8572
4	0,0402	0,7813	0,2656	0,8276	0,7257	0,2262	0,9974	0,8519
5	0,0372	0,7526	0,2542	0,8256	0,7334	0,2177	0,9789	0,8564
6	0,0371	0,7499	0,2537	0,8286	0,7334	0,2173	0,9772	0,8564
7	0,0389	0,7720	0,2598	0,8207	0,7341	0,2226	0,9915	0,8568
8	0,0437	0,8147	0,2745	0,8283	0,7394	0,2360	1,0185	0,8599
9	0,0425	0,8087	0,2728	0,8160	0,7268	0,2325	1,0148	0,8525
10	0,0397	0,7777	0,2626	0,8259	0,7341	0,2250	0,9951	0,8568
11	0,0399	0,7794	0,2614	0,8261	0,7442	0,2255	0,9961	0,8627
12	0,0445	0,8256	0,2788	0,8213	0,7297	0,2382	1,0253	0,8542
Média	0,0401	0,7818	0,2641	0,8246	0,7320	0,2260	0,9976	0,8556
Desvio padrão	0,0023	0,0232	0,0077	0,0048	0,0073	0,0065	0,0148	0,0043

Tabela A.18 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **0,150 – 0,075 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,0124	0,4632	0,1677	0,7281	0,5629	0,1258	0,7679	0,7503
2	0,0165	0,5305	0,1846	0,7385	0,6178	0,1451	0,8218	0,7860
3	0,0135	0,4900	0,1719	0,7049	0,5806	0,1310	0,7899	0,7619
4	0,0151	0,4977	0,1721	0,7654	0,6484	0,1386	0,7961	0,8052
5	0,0147	0,5050	0,1765	0,7258	0,6016	0,1369	0,8019	0,7756
6	0,0143	0,5014	0,1807	0,7169	0,5592	0,1351	0,7990	0,7478
7	0,0138	0,4933	0,1748	0,7148	0,5767	0,1327	0,7925	0,7594
8	0,0147	0,5039	0,1796	0,7258	0,5787	0,1366	0,8010	0,7607
9	0,0142	0,4885	0,1749	0,7457	0,5895	0,1343	0,7887	0,7678
10	0,0138	0,4826	0,1711	0,7422	0,5983	0,1323	0,7838	0,7735
11	0,0142	0,4900	0,1711	0,7422	0,6169	0,1344	0,7899	0,7854
12	0,0117	0,4437	0,1572	0,7471	0,6028	0,1221	0,7516	0,7764
13	0,0133	0,4848	0,1719	0,7135	0,5751	0,1304	0,7857	0,7583
14	0,0126	0,4742	0,1694	0,7054	0,5598	0,1268	0,7770	0,7482
15	0,0134	0,4713	0,1650	0,7567	0,6252	0,1305	0,7746	0,7907
16	0,0129	0,4661	0,1638	0,7463	0,6123	0,1282	0,7703	0,7825
17	0,0149	0,5071	0,1790	0,7284	0,5920	0,1378	0,8035	0,7694
18	0,0136	0,4824	0,1717	0,7346	0,5873	0,1316	0,7837	0,7663
19	0,0140	0,4805	0,1668	0,7644	0,6427	0,1337	0,7822	0,8017
20	0,0139	0,4904	0,1710	0,7285	0,6070	0,1332	0,7902	0,7791
21	0,0132	0,4780	0,1649	0,7232	0,6161	0,1294	0,7802	0,7849
22	0,0127	0,4622	0,1622	0,7479	0,6152	0,1272	0,7671	0,7844
23	0,0128	0,4784	0,1744	0,7042	0,5369	0,1278	0,7804	0,7327
Média	0,0138	0,4854	0,1714	0,7326	0,5958	0,1322	0,7860	0,7717
Desvio padrão	0,0010	0,0183	0,0064	0,0181	0,0275	0,0050	0,0148	0,0179

Tabela A.19 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de rio na fração **0,150 – 0,075 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,0170	0,5222	0,1777	0,7826	0,6849	0,1470	0,8154	0,8276
2	0,0156	0,5056	0,1761	0,7647	0,6390	0,1407	0,8024	0,7994
3	0,0166	0,5262	0,1769	0,7524	0,6744	0,1453	0,8185	0,8212
4	0,0171	0,5431	0,1863	0,7284	0,6272	0,1475	0,8316	0,7919
5	0,0174	0,5337	0,1795	0,7669	0,6869	0,1488	0,8244	0,8288
6	0,0164	0,5292	0,1818	0,7360	0,6316	0,1445	0,8208	0,7947
7	0,0152	0,4914	0,1674	0,7908	0,6908	0,1391	0,7910	0,8312
8	0,0155	0,5012	0,1712	0,7758	0,6735	0,1405	0,7988	0,8207
9	0,0158	0,5153	0,1740	0,7474	0,6644	0,1418	0,8100	0,8151
10	0,0145	0,4980	0,1705	0,7370	0,6372	0,1361	0,7963	0,7982
11	0,0168	0,5100	0,1727	0,8137	0,7193	0,1464	0,8058	0,8481
12	0,0174	0,5361	0,1763	0,7605	0,7122	0,1488	0,8262	0,8439
13	0,0161	0,5180	0,1738	0,7545	0,6793	0,1432	0,8121	0,8242
14	0,0129	0,4842	0,1771	0,6921	0,5241	0,1282	0,7852	0,7240
15	0,0130	0,4854	0,1693	0,6934	0,5777	0,1287	0,7861	0,7601
16	0,0127	0,4619	0,1612	0,7486	0,6224	0,1272	0,7669	0,7889
17	0,0128	0,4594	0,1584	0,7620	0,6495	0,1276	0,7648	0,8059
18	0,0172	0,5246	0,1782	0,7854	0,6897	0,1480	0,8173	0,8305
19	0,0135	0,4615	0,1563	0,7976	0,7049	0,1312	0,7666	0,8396
20	0,0135	0,4782	0,1702	0,7432	0,5945	0,1312	0,7803	0,7710
21	0,0164	0,5121	0,1736	0,7868	0,6939	0,1446	0,8075	0,8330
22	0,0158	0,5245	0,1878	0,7205	0,5696	0,1417	0,8172	0,7547
23	0,0135	0,4757	0,1677	0,7498	0,6114	0,1311	0,7783	0,7819
24	0,0141	0,4885	0,1691	0,7442	0,6295	0,1341	0,7886	0,7934
Média	0,0153	0,5036	0,1730	0,7556	0,6495	0,1393	0,8005	0,8053
Desvio padrão	0,0016	0,0250	0,0077	0,0300	0,0494	0,0075	0,0200	0,0311

Tabela A.20 – Valores médios de área, perímetro, dimensão máxima, fator de forma, arredondamento, esfericidade e diâmetro equivalente das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **0,150 – 0,075 mm**

Foto	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fator de Forma	Arredondamento	Diâmetro equivalente de área (mm)	Diâmetro equivalente de perímetro (mm)	Esfericidade
1	0,0232	0,6133	0,2086	0,7745	0,6786	0,1718	0,8837	0,8238
2	0,0253	0,6380	0,2213	0,7824	0,6591	0,1796	0,9013	0,8118
3	0,0234	0,6114	0,2064	0,7871	0,6997	0,1727	0,8823	0,8365
4	0,0227	0,5946	0,2006	0,8082	0,7198	0,1702	0,8701	0,8484
5	0,0215	0,5757	0,1961	0,8153	0,7121	0,1655	0,8562	0,8438
6	0,0273	0,6547	0,2262	0,7998	0,6792	0,1864	0,9130	0,8242
7	0,0222	0,5893	0,1990	0,8020	0,7124	0,1680	0,8662	0,8441
8	0,0257	0,6486	0,2236	0,7681	0,6545	0,1809	0,9087	0,8090
9	0,0221	0,5961	0,2017	0,7830	0,6927	0,1679	0,8712	0,8323
10	0,0258	0,6461	0,2219	0,7778	0,6679	0,1814	0,9070	0,8172
11	0,0242	0,6171	0,2136	0,7998	0,6763	0,1757	0,8864	0,8223
12	0,0225	0,6018	0,2090	0,7791	0,6544	0,1691	0,8754	0,8090
13	0,0265	0,6379	0,2152	0,8175	0,7280	0,1836	0,9012	0,8532
14	0,0235	0,6049	0,2045	0,8056	0,7144	0,1728	0,8776	0,8452
15	0,0247	0,6185	0,2099	0,8123	0,7147	0,1774	0,8874	0,8454
16	0,0247	0,6150	0,2020	0,8210	0,7710	0,1774	0,8849	0,8781
17	0,0270	0,6527	0,2194	0,7976	0,7151	0,1856	0,9116	0,8457
18	0,0252	0,6229	0,2057	0,8147	0,7573	0,1790	0,8906	0,8702
19	0,0270	0,6478	0,2230	0,8090	0,6917	0,1854	0,9082	0,8317
20	0,0183	0,5381	0,1812	0,7951	0,7109	0,1527	0,8277	0,8431
21	0,0245	0,6217	0,2087	0,7951	0,7147	0,1765	0,8897	0,8454
22	0,0261	0,6484	0,2241	0,7795	0,6611	0,1822	0,9086	0,8131
23	0,0191	0,5468	0,1847	0,8033	0,7130	0,1560	0,8344	0,8444
24	0,0251	0,6283	0,2133	0,7998	0,7031	0,1788	0,8944	0,8385
Média	0,0241	0,6154	0,2092	0,7970	0,7001	0,1749	0,8849	0,8365
Desvio padrão	0,0023	0,0313	0,0119	0,0150	0,0302	0,0087	0,0228	0,0180

Tabela A.21 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **4,75 – 2,36 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	1,998	2,354	1,208	5261,252	6198,282	3180,960
2	2,035	2,398	1,231	5360,037	6314,659	3240,685
3	1,968	2,319	1,190	5182,431	6105,422	3133,304
4	2,123	2,501	1,283	5589,332	6584,792	3379,317
Média	2,031	2,393	1,228	5348,263	6300,789	3233,566
Desvio padrão	0,067	0,079	0,040	176,375	207,787	106,636

Tabela A.22 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **4,75 – 2,36 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	1,124	1,324	0,679	2946,994	3471,854	1781,756
2	1,314	1,548	0,795	3446,790	4060,663	2083,933
3	1,164	1,371	0,704	3051,961	3595,515	1845,219
4	1,342	1,581	0,812	3520,732	4147,775	2128,639
Média	1,236	1,456	0,747	3241,619	3818,952	1959,887
Desvio padrão	0,108	0,128	0,066	284,472	335,137	171,992

Tabela A.23 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **4,75 – 2,36 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	0,910	1,072	0,550	2387,456	2812,662	1443,459
2	0,966	1,138	0,584	2533,943	2985,238	1532,025
3	1,143	1,347	0,691	2998,715	3532,786	1813,027
4	1,112	1,310	0,672	2915,963	3435,296	1762,994
Média	1,033	1,217	0,624	2709,019	3191,495	1637,876
Desvio padrão	0,112	0,132	0,068	294,847	347,359	178,265

Tabela A.24 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **2,36 – 1,18 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	2,980	3,511	1,802	7797,750	9186,529	4714,529
2	2,521	2,970	1,524	6596,257	7771,050	3988,105
3	2,595	3,057	1,569	6790,783	8000,222	4105,716
Média	2,699	3,179	1,632	7061,597	8319,267	4269,450
Desvio padrão	0,246	0,290	0,149	644,904	759,762	389,910

Tabela A.25 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **2,36 – 1,18 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	1,869	2,202	1,130	4886,669	5756,985	2954,486
2	2,048	2,413	1,238	5353,748	6307,250	3236,882
Média	1,959	2,308	1,184	5120,208	6032,118	3095,684
Desvio padrão	0,126	0,149	0,076	330,274	389,096	199,684

Tabela A.26 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **2,36 – 1,18 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	2,050	2,415	1,240	5410	6373,472	3270,867
2	1,812	2,134	1,095	4780,443	5631,840	2890,262
Média	1,931	2,275	1,167	5095,201	6002,656	3080,565
Desvio padrão	0,169	0,199	0,102	445,134	524,413	269,129

Tabela A.27 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **1,18 – 0,600 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	6,686	7,876	4,042	17530,603	20652,803	10599,024
2	6,389	7,527	3,863	16752,183	19735,746	10128,390
3	7,330	8,635	4,432	19219,620	22642,635	11620,206
4	7,637	8,997	4,617	20024,918	23591,356	12107,090
5	5,639	6,643	3,409	14785,709	17419,044	8939,458
6	5,860	6,904	3,543	15366,132	18102,840	9290,382
7	6,806	8,018	4,115	17845,817	21024,156	10789,602
8	5,701	6,716	3,447	14948,559	17610,897	9037,917
9	6,560	7,728	3,966	17199,871	20263,169	10399,063
10	7,226	8,513	4,369	18947,460	22322,003	11455,657
11	5,924	6,979	3,582	15533,717	18300,273	9391,704
12	6,870	8,094	4,154	18013,894	21222,168	10891,222
13	6,221	7,329	3,761	16311,157	19216,174	9861,745
Média	6,527	7,689	3,946	17113,818	20161,790	10347,035
Desvio padrão	0,329	0,387	0,199	862,279	1015,851	521,335

Tabela A.28 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **1,18 – 0,600 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	4,096	4,826	2,477	10755,132	12670,621	6502,566
2	3,778	4,451	2,284	9919,342	11685,977	5997,246
3	3,861	4,549	2,335	10138,306	11943,938	6129,632
4	4,051	4,773	2,449	10636,629	12531,012	6430,918
5	4,385	5,166	2,651	11513,435	13563,978	6961,037
6	3,843	4,527	2,323	10089,164	11886,044	6099,921
7	4,800	5,655	2,902	12602,796	14847,354	7619,666
8	4,588	5,405	2,774	12046,473	14191,950	7283,312
9	4,634	5,460	2,802	12168,171	14335,322	7356,891
10	4,170	4,913	2,521	10950,108	12900,322	6620,448
11	4,922	5,799	2,976	12924,003	15225,768	7813,868
12	4,952	5,834	2,994	13002,125	15317,803	7861,100
13	6,073	7,155	3,672	15945,267	18785,119	9640,527
Média	4,473	5,270	2,705	11745,458	13837,324	7101,318
Desvio padrão	1,398	1,647	0,845	3669,979	4323,603	2218,874

Tabela A.29 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **1,18 – 0,600 m**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	3,915	4,613	2,367	10342,180	12184,122	6252,894
2	3,912	4,609	2,365	10333,669	12174,095	6247,749
3	3,807	4,485	2,302	10057,164	11848,345	6080,574
4	4,241	4,997	2,564	11203,895	13199,309	6773,888
5	4,290	5,054	2,594	11332,753	13351,117	6851,796
6	4,729	5,571	2,859	12491,598	14716,352	7552,435
7	3,718	4,380	2,248	9821,853	11571,125	5938,304
8	3,984	4,693	2,409	10522,922	12397,055	6362,171
9	3,742	4,408	2,262	9884,625	11645,077	5976,256
10	3,604	4,246	2,179	9520,638	11216,264	5756,189
11	4,294	5,059	2,596	11342,737	13362,878	6857,832
12	3,805	4,483	2,301	10051,286	11841,420	6077,020
Média	4,004	4,717	2,421	10575,443	12458,930	6393,926
Desvio padrão	0,078	0,092	0,047	205,693	242,327	124,362

Tabela A.30 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **0,600 – 0,300 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	16,683	19,654	10,086	43720,280	51506,861	26433,334
2	15,222	17,933	9,203	39891,621	46996,318	24118,522
3	13,216	15,569	7,990	34634,311	40802,681	20939,946
4	13,641	16,071	8,248	35749,703	42116,725	21614,314
5	12,692	14,952	7,673	33261,100	39184,901	20109,701
6	14,934	17,594	9,029	39138,526	46109,097	23663,200
7	13,877	16,348	8,390	36366,166	42842,980	21987,028
8	14,966	17,632	9,049	39221,778	46207,177	23713,534
9	12,335	14,531	7,457	32325,039	38082,129	19543,758
10	13,325	15,698	8,056	34921,230	41140,701	21113,418
11	14,006	16,500	8,468	36705,271	43242,480	22192,051
12	13,070	15,398	7,902	34253,326	40353,843	20709,602
13	15,397	18,139	9,309	40350,153	47536,515	24395,751
14	15,668	18,459	9,473	41061,048	48374,021	24825,559
15	13,494	15,897	8,158	35363,297	41661,501	21380,692
16	14,566	17,160	8,806	38171,868	44970,277	23078,757
17	12,900	15,197	7,799	33806,417	39827,340	20439,400
18	14,522	17,108	8,780	38057,086	44835,053	23009,360
19	13,197	15,548	7,979	34585,612	40745,309	20910,502
Média	14,090	16,599	8,519	36925,465	43501,890	22325,180
Desvio padrão	1,163	1,370	0,703	3047,672	3590,463	1842,626

Tabela A.31 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **0,600 – 0,300 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	8,374	9,866	5,063	21963,081	25874,706	13278,905
2	8,035	9,466	4,858	21073,353	24826,518	12740,975
3	7,417	8,739	4,485	19453,798	22918,520	11761,790
4	7,500	8,836	4,534	19669,802	23172,994	11892,386
5	7,611	8,967	4,602	19961,359	23516,477	12068,662
6	7,202	8,485	4,354	18889,109	22253,260	11420,378
7	7,432	8,756	4,493	19492,236	22963,803	11785,029
8	7,243	8,533	4,379	18995,837	22378,996	11484,906
9	6,998	8,244	4,231	18353,279	21621,998	11096,415
10	7,620	8,977	4,607	19985,053	23544,391	12082,987
11	7,430	8,753	4,492	19486,907	22957,526	11781,808
12	7,073	8,333	4,276	18550,685	21854,562	11215,766
13	6,897	8,125	4,170	18088,484	21310,043	10936,319
Média	7,449	8,775	4,503	19535,614	23014,907	11811,256
Desvio padrão	1,045	1,231	0,632	2739,754	3227,704	1656,459

Tabela A.32 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **0,600 – 0,300 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	9,137	10,765	5,524	24166,148	28470,139	14610,882
2	8,585	10,114	5,190	22704,608	26748,299	13727,234
3	8,001	9,426	4,838	21162,035	24930,994	12794,592
4	8,246	9,715	4,986	21809,188	25693,405	13185,861
5	7,708	9,080	4,660	20385,072	24015,653	12324,839
6	8,617	10,152	5,210	22790,950	26850,018	13779,436
7	8,886	10,468	5,372	23501,377	27686,972	14208,961
8	7,370	8,683	4,456	19493,184	22964,920	11785,602
9	8,124	9,571	4,912	21486,198	25312,890	12990,581
10	7,961	9,379	4,813	21055,145	24805,067	12729,966
Média	8,264	9,735	4,996	21855,391	25747,836	13213,795
Desvio padrão	0,544	0,641	0,329	1439,396	1695,752	870,260

Tabela A.33 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **0,300 – 0,150 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	25,667	30,239	15,519	67699,970	79757,334	40931,483
2	29,433	34,675	17,795	77632,763	91459,159	46936,862
3	27,975	32,958	16,914	73787,877	86929,498	44612,239
4	28,010	32,998	16,935	73878,370	87036,108	44666,952
5	23,330	27,485	14,105	61534,471	72493,760	37203,815
6	28,305	33,346	17,113	74657,786	87954,337	45138,187
7	27,159	31,997	16,421	71635,617	84393,920	43310,980
8	29,514	34,770	17,844	77844,673	91708,809	47064,983
9	26,710	31,468	16,149	70451,062	82998,396	42594,797
10	29,859	35,177	18,053	78755,205	92781,507	47615,492
11	29,373	34,604	17,759	77473,124	91271,087	46840,344
12	29,667	34,951	17,937	78249,729	92186,006	47309,881
13	30,084	35,442	18,189	79350,306	93482,596	47975,291
14	25,637	30,203	15,500	67620,618	79663,851	40883,507
15	23,072	27,181	13,949	60853,489	71691,495	36792,093
16	22,858	26,929	13,820	60289,499	71027,058	36451,104
17	32,559	38,358	19,685	85876,867	101171,537	51921,257
18	24,405	28,751	14,755	64370,293	75834,642	38918,357
Média	27,423	32,307	16,580	72331,207	85213,395	43731,535
Desvio padrão	2,771	3,265	1,675	7309,402	8611,207	4419,274

Tabela A.34 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **rio** na fração **0,300 – 0,150 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	17,900	21,088	10,822	47148,160	55545,247	28505,834
2	17,129	20,180	10,356	45118,824	53154,487	27278,895
3	17,479	20,592	10,568	46040,871	54240,751	27836,366
4	18,026	21,236	10,898	47480,759	55937,082	28706,924
5	18,671	21,996	11,288	49179,185	57937,998	29733,795
6	17,923	21,115	10,836	47210,593	55618,799	28543,581
7	17,675	20,823	10,686	46556,788	54848,552	28148,290
8	18,701	22,031	11,306	49258,308	58031,213	29781,633
9	16,421	19,346	9,928	43254,389	50957,995	26151,655
10	17,038	20,073	10,301	44879,432	52872,459	27134,159
11	15,391	18,132	9,305	40540,407	47760,653	24510,779
12	16,290	19,191	9,849	42908,006	50549,922	25942,232
Média	17,387	20,484	10,512	45797,977	53954,597	27689,512
Desvio padrão	0,988	1,164	0,597	2601,752	3065,125	1573,023

Tabela A.35 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **0,300 – 0,150 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	15,869	18,695	9,594	41955,526	49427,805	25366,361
2	16,504	19,443	9,978	43634,138	51405,378	26381,252
3	16,046	18,903	9,701	42423,192	49978,763	25649,113
4	16,199	19,084	9,794	42829,162	50457,035	25894,563
5	15,236	17,950	9,212	40282,755	47457,114	24355,002
6	16,481	19,416	9,965	43574,853	51335,534	26345,409
7	14,989	17,658	9,062	39629,507	46687,522	23960,048
8	17,518	20,638	10,592	46317,289	54566,398	28003,489
9	17,670	20,817	10,683	46718,199	55038,710	28245,879
10	16,237	19,128	9,817	42928,343	50573,880	25954,528
11	16,338	19,248	9,878	43196,234	50889,484	26116,495
12	18,242	21,490	11,029	48229,471	56819,140	29159,596
Média	16,444	19,373	9,942	43476,556	51219,730	26285,978
Desvio padrão	1,055	1,242	0,638	2788,397	3285,011	1685,868

Tabela A.36 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **pedra** na fração **0,150 – 0,075 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	44,084	51,936	26,654	115719,808	136329,506	69964,336
2	68,997	81,286	41,716	181114,651	213371,171	109502,136
3	49,339	58,126	29,830	129512,330	152578,476	78303,311
4	50,878	59,940	30,761	133553,219	157339,047	80746,437
5	52,403	61,735	31,683	137554,386	162052,822	83165,547
6	52,935	62,363	32,005	138952,679	163700,152	84010,957
7	50,749	59,788	30,683	133214,643	156940,171	80541,734
8	56,522	66,589	34,173	148367,814	174792,122	89703,359
9	52,239	61,542	31,584	137124,555	161546,438	82905,671
10	51,165	60,278	30,935	134306,395	158226,364	81201,808
11	51,887	61,128	31,371	136201,831	160459,377	82347,791
12	40,441	47,644	24,451	106156,595	125063,084	64182,405
13	48,255	56,849	29,175	126667,861	149227,407	76583,542
14	47,580	56,053	28,767	124894,199	147137,856	75511,183
15	47,294	55,717	28,594	124144,321	146254,424	75057,806
16	46,380	54,640	28,041	121745,435	143428,297	73607,437
17	52,808	62,213	31,928	138619,123	163307,189	83809,289
18	49,133	57,884	29,706	128972,654	151942,684	77977,022
19	49,163	57,919	29,724	129050,406	152034,283	78024,031
20	49,377	58,171	29,854	129613,355	152697,493	78364,390
21	46,967	55,332	28,396	123287,195	145244,645	74539,587
22	43,854	51,665	26,514	115115,970	135618,124	69599,254
23	46,998	55,368	28,415	123367,218	145338,920	74587,969
Média	49,976	58,877	30,216	131185,071	154549,133	79314,652
Desvio padrão	5,439	6,408	3,289	14278,056	16820,978	8632,530

Tabela A.37 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de rio na fração 0,150 – 0,075 mm

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	48,462	57,093	29,300	127599,076	150324,472	77146,555
2	45,334	53,408	27,409	119363,598	140622,255	72167,375
3	52,284	61,596	31,611	137663,151	162180,958	83231,307
4	53,919	63,522	32,599	141967,777	167252,238	85833,889
5	49,538	58,361	29,951	130433,004	153663,122	78859,952
6	47,449	55,899	28,688	124931,931	147182,308	75533,996
7	44,949	52,954	27,176	118349,003	139426,960	71553,950
8	42,527	50,101	25,712	111972,059	131914,282	67698,441
9	44,958	52,965	27,182	118374,337	139456,806	71569,267
10	44,276	52,162	26,769	116578,060	137340,613	70483,236
11	47,240	55,653	28,561	124381,254	146533,555	75201,056
12	50,729	59,763	30,671	133568,034	157356,501	80755,394
13	45,397	53,483	27,447	119530,608	140819,009	72268,349
14	39,691	46,760	23,997	104506,498	123119,105	63184,754
15	39,909	47,017	24,129	105080,219	123795,006	63531,627
16	41,055	48,367	24,822	108097,527	127349,697	65355,895
17	35,722	42,084	21,598	94056,110	110807,503	56866,437
18	46,562	54,854	28,151	122596,543	144430,988	74122,018
19	36,045	42,465	21,793	94905,769	111808,486	57380,142
20	38,736	45,635	23,420	101992,308	120157,138	61664,672
21	48,013	56,564	29,029	126417,401	148932,340	76432,113
22	46,545	54,835	28,141	122553,433	144380,200	74095,953
23	42,967	50,619	25,978	113130,880	133279,490	68399,066
24	40,394	47,589	24,422	106357,730	125300,041	64304,011
Média	44,696	52,656	27,023	117683,596	138643,045	71151,644
Desvio padrão	4,792	5,645	2,897	12616,914	14863,987	7628,202

Tabela A.38 – Valores médios de área específica das projeções dos grãos de areia de **duna** na fração **0,150 – 0,075 mm**

Foto	Área específica em massa (m ² /kg)			Área Específica Volumétrica (m ² /m ³)		
	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL	ESFÉRICA	CÚBICA	PIRAMIDAL
1	25,855	30,460	15,632	68312,513	80478,971	41301,827
2	27,191	32,034	16,440	71841,682	84636,685	43435,567
3	24,964	29,411	15,094	65959,081	77706,394	39878,940
4	23,603	27,807	14,271	62363,006	73469,858	37704,749
5	22,151	26,096	13,392	58524,683	68947,929	35384,094
6	28,643	33,744	17,317	75677,040	89155,120	45754,429
7	23,205	27,338	14,030	61309,920	72229,217	37068,051
8	29,605	34,878	17,899	78220,609	92151,700	47292,275
9	23,749	27,979	14,359	62748,225	73923,683	37937,652
10	29,121	34,308	17,607	76941,897	90645,248	46519,163
11	25,444	29,976	15,384	67226,916	79200,030	40645,475
12	24,197	28,506	14,629	63930,855	75316,940	38652,672
13	27,175	32,014	16,430	71798,333	84585,616	43409,359
14	25,199	29,687	15,235	66578,289	78435,882	40253,314
15	25,580	30,135	15,465	67584,166	79620,906	40861,468
16	25,280	29,782	15,284	66792,097	78687,769	40382,582
17	28,434	33,498	17,191	75125,534	88505,391	45420,988
18	25,934	30,553	15,680	68521,906	80725,658	41428,427
19	28,036	33,029	16,950	74073,354	87265,818	44784,839
20	19,350	22,797	11,699	51125,840	60231,352	30910,745
21	25,835	30,436	15,620	68259,442	80416,449	41269,741
22	28,104	33,110	16,992	74255,291	87480,158	44894,838
23	19,982	23,540	12,081	52794,080	62196,706	31919,364
24	26,366	31,061	15,941	69661,365	82068,054	42117,345
Média	25,542	30,091	15,443	67484,422	79503,397	40801,163
Desvio padrão	2,654	3,127	1,605	7012,329	8261,225	4239,663

**ANEXO B - RESULTADOS DE ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO
FRESCO**

Tabela B.1 - Ensaio de consistência, massa específica e teor de ar no estado fresco – (1:1:6).

Argamassa	Granulometria Areia	Índice de consistência (mm)			Massa específica (kg/dm ³)		Teor de ar (%)	
0	Imbituba / Duna	251	249	251	1,979	1,981	3,51	3,41
1	BSI 1R / Pedra	251	251	250	1,922	1,92	2,04	2,14
2	BSI 1R / Duna	266	275	266	2,051	2,059	3,71	3,33
3	BSI 1R / Duna	276	275	278	2,08	2,088	1,89	1,51
4	ABNT 1R / Pedra	251	252	251	1,941	1,945	0,82	0,61
5	ABNT 1R / Duna	282	289	285	2,094	2,094	1,18	1,18
6	ABNT 1R / Duna	260	261	263	2,107	2,113	2,63	2,36
7	BSI 2E / Pedra	262	260	265	1,958	1,962	1,56	1,36
8	BSI 2E / Duna	261	266	262	2,112	2,111	2,58	2,63
9	BSI 2E / Duna	254	256	255	2,122	2,124	2,17	2,07
10	ASTM 1E / Pedra	261	263	265	2,055	2,059	1,15	0,96
11	ASTM 1E / Duna	256	256	260	2,198	2,198	0,45	0,45
12	DTU 1E / Pedra	250	250	250	2,038	2,047	-	-
13	DTU 1E / Duna	259	259	257	2,188	2,195	2,28	1,97
14	N6 / Pedra	250	250	250	2,058	2,063	0,91	0,67
15	N6 / Duna	258	258	256	2,177	2,182	3,24	3,02

Tabela B.2 - Ensaio de consistência, massa específica e teor de ar no estado fresco – (1:2:9).

Argamassa	Granulometria Areia	Índice de consistência (mm)			Massa específica (kg/dm ³)		Teor de ar (%)	
18	BSI 1R / Pedra	252	253	257	1,912	1,915	1,29	1,14
19	BSI 1R / Duna	274	264	264	2,098	2,062	1,36	3,06
20	ABNT 1R / Pedra	248	252	250	1,907	1,908	0,99	0,93
21	ABNT 1R / Duna	264	263	260	2,059	2,061	2,37	2,28
22	BSI 2E / Pedra	266	265	261	1,906	1,906	1,40	1,40
23	BSI 2E / Duna	264	260	262	2,055	2,061	3,07	2,78
25	ASTM 1E / Pedra	251	251	251	2,008	2,007	0,54	0,59
26	ASTM 1E / Duna	260	259	258	2,136	2,136	0,93	0,93
27	DTU 1E / Pedra	254	255	256	1,999	1,996	-	0,10
28	DTU 1E / Duna	262	260	270	2,137	2,14	1,88	1,74
29	N6 / Pedra	266	262	270	1,992	1,996	1,24	1,04
30	N6 / Duna	272	267	269	2,121	2,125	1,58	1,39

Tabela B.3 - Ensaio de retenção de água e retenção de consistência - (1:1:6).

Argamassa	Granulometria Areia	Retenção de água (%)			Índice de consistência após sucção (mm)		
0	Imbituba / Duna	89,0	-	-	193	203	198
1	BSI 1R / Pedra	90,3	90,9	91,5	163	163	165
2	BSI 1R / Duna	90,8	89,4	89,5	190	198	195
3	BSI 1R / Duna	90,7	90,5	91,3	221	228	226
4	ABNT 1R / Pedra	91,7	92,4	92,2	210	218	214
5	ABNT 1R / Duna	89,9	89,2	89,9	217	218	215
6	ABNT 1R / Duna	91,4	92,5	91,7	207	205	207
7	BSI 2E / Pedra	89,1	89,6	89,4	190	193	199
8	BSI 2E / Duna	90,7	90,9	90,7	212	214	216
9	BSI 2E / Duna	94,2	93,8	94,1	220	227	221
10	ASTM 1E / Pedra	87,2	86,3	85,9	180	183	180
11	ASTM 1E / Duna	92,3	91,6	96,4	210	210	210
12	DTU 1E / Pedra	91,1	91,8	91,9	211	215	208
13	DTU 1E / Duna	91,5	91,4	90,9	207	212	210
14	N6 / Pedra	89,2	90,4	90,4	176	178	180
15	N6 / Duna	92,4	92,8	91,6	199	200	205

Tabela B.4 - Ensaio de retenção de água e retenção de consistência - (1:2:9).

Argamassa	Granulometria Areia	Retenção de água (%)			Índice de consistência após sucção (mm)		
18	BSI 1R / Pedra	90,2	90,0	90,1	202	200	196
19	BSI 1R / Duna	89,9	89,5	89,0	187	182	182
20	ABNT 1R / Pedra	93,1	92,2	92,4	213	212	212
21	ABNT 1R / Duna	92,8	92,3	92,3	218	219	224
22	BSI 2E / Pedra	91,5	91,5	91,9	218	210	214
23	BSI 2E / Duna	92,6	93	93,3	221	224	220
25	ASTM 1E / Pedra	91,6	90,6	91,5	202	197	200
26	ASTM 1E / Duna	93,9	93,3	94,2	220	224	220
27	DTU 1E / Pedra	92,6	92,5	92,6	218	216	215
28	DTU 1E / Duna	92,2	92,6	92,3	229	226	228
29	N6 / Pedra	91,2	90,2	89,5	205	203	205
30	N6 / Duna	92,6	93,1	92,7	238	234	238

Tabela B.5 - Ensaio de exsudação de água - (1:1:6).

Argamassa	Granulometria Areia	Exsudação de água (%)			
		15 min.	30 min.	60 min.	90 min.
0	Imbituba / Duna	1,49	2,78	3,29	3,00
1	BSI 1R / Pedra	0,81	0,96	2,08	3,14
2	BSI 1R / Duna	0,80	2,10	3,20	3,10
3	BSI 1R / Duna	0,30	2,60	-	-
4	ABNT 1R / Pedra	0,53	1,36	2,07	2,95
5	ABNT 1R / Duna	0,25	2,24	3,04	4,32
6	ABNT 1R / Duna	-	0,42	0,82	1,44
7	BSI 2E / Pedra	1,08	2,45	3,56	4,10
8	BSI 2E / Duna	0,40	0,79	1,16	1,58
9	BSI 2E / Duna	0,16	0,55	0,60	-
10	ASTM 1E / Pedra	1,15	2,58	3,17	4,33
11	ASTM 1E / Duna	0,00	0,54	1,59	1,27
12	DTU 1E / Pedra	0,30	0,95	1,60	2,04
13	DTU 1E / Duna	0,43	0,92	1,46	1,86
14	N6 / Pedra	0,61	1,55	2,34	3,48
15	N6 / Duna	0,65	0,61	1,33	1,00

Tabela B.6 - Ensaio de exsudação de água - (1:2:9).

Argamassa	Granulometria Areia	Exsudação de água (%)			
		15 min.	30 min.	60 min.	90 min.
18	BSI 1R / Pedra	0,58	1,45	2,43	2,62
19	BSI 1R / Duna	0,27	0,96	2,23	3,61
20	ABNT 1R / Pedra	0,53	0,97	1,67	1,59
21	ABNT 1R / Duna	0,20	0,48	1,22	0,92
22	BSI 2E / Pedra	0,24	0,90	2,20	3,18
23	BSI 2E / Duna	0,14	0,60	1,03	1,47
25	ASTM 1E / Pedra	0,30	0,95	1,41	1,60
26	ASTM 1E / Duna	0,06	0,14	0,33	0,45
27	DTU 1E / Pedra	0,14	0,56	1,14	1,84
28	DTU 1E / Duna	0,08	0,70	1,71	0,70
29	N6 / Pedra	0,52	1,08	2,31	1,99
30	N6 / Duna	0,07	0,40	0,96	0,90

Tabela B.7 - Ensaio de plasticidade das argamassas - (1:1:6).

Argamassa	Granulometria Areia	Altura não extrudada (mm)		
0	Imbituba / Duna	112	85	105
1	BSI 1R / Pedra	115	107	114
2	BSI 1R / Duna	100	105	-
3	BSI 1R / Duna	105	107	-
4	ABNT 1R / Pedra	10	24	23
5	ABNT 1R / Duna	90	100	100
6	ABNT 1R / Duna	110	110	113
7	BSI 2E / Pedra	95	91	81
8	BSI 2E / Duna	103	100	95
9	BSI 2E / Duna	45	55	-
10	ASTM 1E / Pedra	110	104	-
11	ASTM 1E / Duna	90	90	85
12	DTU 1E / Pedra	15	15	5
13	DTU 1E / Duna	28	26	27
14	N6 / Pedra	105	100	108
15	N6 / Duna	110	95	100

Tabela B.8 - Ensaio de plasticidade das argamassas - (1:2:9).

Argamassa	Granulometria Areia	Altura não extrudada (mm)		
18	BSI 1R / Pedra	90	80	85
19	BSI 1R / Duna	105	110	110
20	ABNT 1R / Pedra	0	0	0
21	ABNT 1R / Duna	20	30	35
22	BSI 2E / Pedra	55	65	57
23	BSI 2E / Duna	90	100	100
25	ASTM 1E / Pedra	90	88	95
26	ASTM 1E / Duna	70	60	55
27	DTU 1E / Pedra	0	0	0
28	DTU 1E / Duna	0	0	0
29	N6 / Pedra	95	98	100
30	N6 / Duna	10	10	5

Tabela B.9 - Ensaio de retração plástica das argamassas - (1:1:6).

Argamassa	Granulometria Areia	Retração plástica (mm/m)				
		6 hs.	12 hs.	18 hs.	20 hs.	24 hs.
1	BSI 1R / Pedra	0,05981	0,90462	1,00914	1,00914	1,01567
4	ABNT 1R / Pedra	0,27293	2,21414	2,62945	2,64853	2,68343
7	BSI 2E / Pedra	0,14349	0,64833	0,75698	0,76352	0,77315
10	ASTM 1E / Pedra	0,01402	0,28340	0,32805	0,32159	0,33427
11	ASTM 1E / Duna	0,29742	0,55091	0,56706	0,57982	0,59265
12	DTU 1E / Pedra	0,04435	0,52164	0,88677	0,91840	0,92803
13	DTU 1E / Duna	0,01961	0,02287	0,02906	0,03215	0,06431
14	N6 / Pedra	0,02871	0,19479	0,29312	0,28641	0,30893
15	N6 / Duna	0,04126	0,28571	0,30479	0,30152	0,30788

Tabela B.10 - Ensaio de retração plástica das argamassas - (1:2:9).

Argamassa	Granulometria Areia	Retração plástica (mm/m)				
		6 hs.	12 hs.	18 hs.	20 hs.	24 hs.
18	BSI 1R / Pedra	0,10177	1,66810	2,39094	2,44183	2,46074
19	BSI 1R / Duna	0,08835	0,15727	0,34225	0,38369	0,39332
20	ABNT 1R / Pedra	0,06326	0,94658	3,24041	3,42329	3,51474
21	ABNT 1R / Duna	0,32212	2,17404	2,77009	2,84969	2,95455
22	BSI 2E / Pedra	0,05999	1,29834	3,13135	3,34073	3,36582
23	BSI 2E / Duna	0,05345	1,07082	1,69365	1,82069	1,91593
25	ASTM 1E / Pedra	0,15435	1,89405	2,82389	2,88732	2,96692
26	ASTM 1E / Duna	0,02579	0,71626	0,88438	0,89710	0,91636
27	DTU 1E / Pedra	0,03799	1,27158	2,52040	2,62596	2,68665
28	DTU 1E / Duna	0,33006	1,42959	1,93633	1,87450	1,92176
29	N6 / Pedra	0,09763	2,68497	4,24096	4,35802	4,44911
30	N6 / Duna	0,11548	2,35802	3,13672	3,20960	3,28249

**ANEXO C - RESULTADOS DE ENSAIOS NAS ARGAMASSAS NO ESTADO
ENDURECIDO**

Tabela C.1-a - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:1:6).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A1	1	191,90	387,10	325,10	19,07	31,76	1,665
	2	189,20	382,70	320,80	19,30	31,99	1,658
	3	192,50	387,90	325,80	19,06	31,78	1,667
	4	189,60	383,20	320,60	19,53	32,33	1,656
	Média	190,80	385,23	323,08	19,24	31,97	1,662
	Desvio padrão	1,64	2,66	2,76	0,22	0,27	0,006
	Coefficiente de variação (%)	0,86	0,69	0,85	1,14	0,83	0,34
A2	1	213,20	405,60	360,90	12,39	23,23	1,876
	2	214,00	406,20	361,50	12,37	23,26	1,881
	3	217,40	412,20	366,70	12,41	23,36	1,882
	4	215,40	409,80	363,80	12,64	23,66	1,871
	Média	215,00	408,45	363,23	12,45	23,38	1,878
	Desvio padrão	1,84	3,11	2,63	0,13	0,20	0,005
	Coefficiente de variação (%)	0,86	0,76	0,72	1,05	0,85	0,27

Tabela C.1-b - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:1:6).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A4	1	191,60	385,90	322,30	19,73	32,73	1,659
	2	195,00	393,00	328,10	19,78	32,78	1,657
	3	193,20	387,20	323,10	19,84	33,04	1,665
	4	193,00	388,30	324,10	19,81	32,87	1,659
	5	193,30	389,00	324,50	19,88	32,96	1,658
	Média	193,22	388,68	324,42	19,81	32,88	1,660
	Desvio padrão	1,21	2,68	2,23	0,05	0,13	0,003
	Coefficiente de variação (%)	0,63	0,69	0,69	0,28	0,39	0,20
A5	1	221,50	415,30	371,10	11,91	22,81	1,915
	2	222,50	416,90	372,10	12,04	23,05	1,914
	3	221,90	414,90	371,30	11,74	22,59	1,924
	4	221,20	414,10	370,60	11,74	22,55	1,921
	5	225,60	421,30	377,00	11,75	22,64	1,926
	Média	222,54	416,50	372,42	11,84	22,73	1,920
	Desvio padrão	1,78	2,87	2,62	0,13	0,20	0,005
	Coefficiente de variação (%)	0,80	0,69	0,70	1,14	0,90	0,28

Tabela C.1-c - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:1:6).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A7	1	195,30	386,90	328,30	17,85	30,58	1,713
	2	197,40	391,10	331,80	17,87	30,61	1,713
	3	199,00	393,40	334,90	17,47	30,09	1,723
	4	197,90	392,80	333,00	17,96	30,68	1,709
	5	196,40	388,20	329,40	17,85	30,66	1,717
	Média	197,20	390,48	331,48	17,80	30,53	1,715
	Desvio padrão	1,42	2,84	2,67	0,19	0,25	0,005
	Coefficiente de variação (%)	0,72	0,73	0,81	1,07	0,80	0,31
A8	1	223,30	420,00	376,80	11,46	21,96	1,916
	2	224,50	418,30	376,00	11,25	21,83	1,940
	3	225,10	421,20	378,30	11,34	21,88	1,929
	4	227,70	426,10	382,90	11,28	21,77	1,930
	Média	225,15	421,40	378,50	11,33	21,86	1,929
	Desvio padrão	1,86	3,35	3,08	0,09	0,08	0,010
	Coefficiente de variação (%)	0,82	0,80	0,81	0,84	0,37	0,52

Tabela C.1-d - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:1:6).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A10	1	218,80	415,70	364,10	14,17	26,21	1,849
	2	216,40	412,30	360,60	14,34	26,39	1,841
	3	217,10	413,50	360,50	14,70	26,99	1,836
	4	219,70	417,70	365,20	14,38	26,52	1,844
	Média	218,00	414,80	362,60	14,40	26,52	1,842
	Desvio padrão	1,52	2,39	2,41	0,22	0,33	0,006
	Coefficiente de variação (%)	0,70	0,58	0,66	1,54	1,25	0,31
A11	1	243,10	439,50	400,20	9,82	20,01	2,038
	2	243,40	440,80	401,40	9,82	19,96	2,033
	3	244,30	441,60	402,40	9,74	19,87	2,040
	4	243,10	440,10	400,20	9,97	20,25	2,031
	Média	243,48	440,50	401,05	9,84	20,02	2,036
	Desvio padrão	0,57	0,91	1,06	0,10	0,16	0,004
	Coefficiente de variação (%)	0,23	0,21	0,27	0,97	0,82	0,18

Tabela C.1-e - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:1:6).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A12	1	211,70	408,00	350,70	16,34	29,19	1,787
	2	209,10	402,80	346,50	16,25	29,07	1,789
	3	210,10	404,00	347,50	16,26	29,14	1,792
	4	212,20	409,60	351,50	16,53	29,43	1,781
	5	209,40	403,70	346,60	16,47	29,39	1,784
	Média	210,50	405,62	348,56	16,37	29,24	1,786
	Desvio padrão	1,38	2,99	2,37	0,13	0,16	0,004
	Coefficiente de variação (%)	0,66	0,74	0,68	0,77	0,55	0,25
A13	1	240,20	435,90	398,10	9,50	19,32	2,034
	2	240,50	437,50	401,10	9,08	18,48	2,036
	3	241,70	437,90	401,10	9,17	18,76	2,044
	4	241,10	437,10	400,00	9,28	18,93	2,041
	5	240,20	436,90	400,20	9,17	18,66	2,035
	Média	240,74	437,06	400,10	9,24	18,83	2,038
	Desvio padrão	0,65	0,75	1,23	0,16	0,32	0,004
	Coefficiente de variação (%)	0,27	0,17	0,31	1,73	1,69	0,22

Tabela C.1-f - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:1:6).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A14	1	218,60	413,90	362,60	14,15	26,27	1,857
	2	214,80	410,30	358,10	14,58	26,70	1,832
	3	215,90	410,30	359,10	14,26	26,34	1,847
	4	217,20	414,50	361,90	14,53	26,66	1,834
	5	217,30	414,50	362,00	14,50	26,62	1,836
	Média	216,76	412,70	360,74	14,40	26,52	1,841
	Desvio padrão	1,45	2,20	2,00	0,19	0,20	0,011
	Coefficiente de variação (%)	0,67	0,53	0,56	1,32	0,75	0,57
A15	1	238,30	433,50	397,10	9,17	18,65	2,034
	2	239,20	435,40	399,20	9,07	18,45	2,035
	3	243,30	441,60	405,20	8,98	18,36	2,043
	4	242,20	440,40	403,60	9,12	18,57	2,036
	Média	240,75	437,73	401,28	9,08	18,51	2,037
	Desvio padrão	2,38	3,89	3,77	0,08	0,13	0,004
	Coefficiente de variação (%)	0,99	0,89	0,94	0,86	0,69	0,21

Tabela C.2-a - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:2:9).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A18	1	181,70	374,40	310,30	20,66	33,26	1,610
	2	183,30	376,60	312,20	20,63	33,32	1,615
	3	178,10	369,60	305,80	20,86	33,32	1,597
	4	180,60	374,00	309,70	20,76	33,25	1,601
	5	180,40	373,80	308,80	21,05	33,61	1,597
	Média	180,82	373,68	309,36	20,79	33,35	1,604
	Desvio padrão	1,91	2,54	2,35	0,17	0,15	0,008
	Coefficiente de variação (%)	1,05	0,68	0,76	0,82	0,44	0,52
A19	1	209,40	401,10	355,10	12,95	24,00	1,852
	2	210,00	402,60	356,80	12,84	23,78	1,853
	3	209,40	402,10	355,30	13,17	24,29	1,844
	4	212,70	407,60	360,90	12,94	23,96	1,852
	5	210,80	404,50	357,50	13,15	24,26	1,846
	Média	210,46	403,58	357,12	13,01	24,06	1,849
	Desvio padrão	1,38	2,56	2,34	0,14	0,22	0,004
	Coefficiente de variação (%)	0,65	0,64	0,66	1,11	0,89	0,23

Tabela C.2-b - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:2:9).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A20	1	179,90	372,90	306,00	21,86	34,66	1,585
	2	182,40	376,00	307,40	22,32	35,43	1,588
	3	179,90	373,20	305,40	22,20	35,08	1,580
	4	179,30	370,90	304,40	21,85	34,71	1,589
	5	180,70	373,80	306,60	21,92	34,80	1,588
	Média	180,44	373,36	305,96	22,03	34,94	1,586
	Desvio padrão	1,20	1,83	1,14	0,22	0,32	0,004
	Coefficiente de variação (%)	0,67	0,49	0,37	0,98	0,92	0,23
A21	1	208,50	403,90	353,30	14,32	25,90	1,808
	2	208,40	403,90	353,40	14,29	25,83	1,808
	3	210,70	406,50	356,30	14,09	25,64	1,820
	4	210,40	407,20	356,00	14,38	26,02	1,809
	5	212,90	409,70	359,60	13,93	25,46	1,827
	Média	210,18	406,24	355,72	14,20	25,77	1,814
	Desvio padrão	1,85	2,44	2,58	0,19	0,22	0,009
	Coefficiente de variação (%)	0,88	0,60	0,73	1,32	0,86	0,48

Tabela C.2-c - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:2:9).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A22	1	179,20	374,60	306,10	22,38	35,06	1,567
	2	180,30	376,60	306,80	22,75	35,56	1,563
	3	177,50	371,80	302,80	22,79	35,51	1,558
	4	179,80	373,20	306,60	21,72	34,44	1,585
	5	180,60	377,90	308,70	22,42	35,07	1,565
	Média	179,48	374,82	306,20	22,41	35,13	1,568
	Desvio padrão	1,23	2,47	2,14	0,43	0,45	0,010
	Coefficiente de variação (%)	0,68	0,66	0,70	1,91	1,29	0,66
A23	1	210,00	405,00	354,20	14,34	26,05	1,816
	2	213,90	410,40	360,10	13,97	25,60	1,833
	3	211,00	406,10	355,80	14,14	25,78	1,824
	4	213,00	408,90	358,80	13,96	25,57	1,832
	5	212,80	408,90	358,70	13,99	25,60	1,829
	Média	212,14	407,86	357,52	14,08	25,72	1,827
	Desvio padrão	1,59	2,23	2,43	0,16	0,20	0,007
	Coefficiente de variação (%)	0,75	0,55	0,68	1,15	0,79	0,37

Tabela C.2-d - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:2:9).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A25	1	203,40	399,60	338,60	18,02	31,09	1,726
	2	209,10	407,60	349,70	16,56	29,17	1,762
	3	201,70	397,60	336,80	18,05	31,04	1,719
	4	208,40	405,60	348,40	16,42	29,01	1,767
	5	201,30	396,50	335,60	18,15	31,20	1,719
	Média	204,78	401,38	341,82	17,44	30,30	1,739
	Desvio padrão	3,72	4,94	6,70	0,87	1,11	0,024
	Coefficiente de variação (%)	1,82	1,23	1,96	4,99	3,66	1,36
A26	1	229,50	426,10	379,10	12,40	23,91	1,928
	2	229,40	425,70	379,80	12,09	23,38	1,935
	3	229,50	426,60	379,90	12,29	23,69	1,927
	4	228,60	426,00	379,00	12,40	23,81	1,920
	5	234,50	437,00	387,20	12,86	24,59	1,912
	Média	230,30	428,28	381,00	12,41	23,88	1,925
	Desvio padrão	2,38	4,89	3,49	0,28	0,45	0,009
	Coefficiente de variação (%)	1,03	1,14	0,92	2,29	1,87	0,45

Tabela C.2-e - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:2:9).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A27	1	197,20	390,40	328,80	18,73	31,88	1,702
	2	197,00	390,40	328,90	18,70	31,80	1,701
	3	197,10	391,10	329,70	18,62	31,65	1,699
	4	197,40	391,10	329,50	18,69	31,80	1,701
	5	197,10	390,00	329,50	18,36	31,36	1,708
	Média	197,16	390,60	329,28	18,62	31,70	1,702
	Desvio padrão	0,15	0,48	0,40	0,15	0,21	0,003
	Coefficiente de variação (%)	0,08	0,12	0,12	0,81	0,65	0,20
A28	1	228,50	424,20	378,20	12,16	23,51	1,933
	2	227,90	422,60	377,60	11,92	23,11	1,939
	3	231,00	429,20	383,60	11,89	23,01	1,935
	4	226,20	421,40	375,70	12,16	23,41	1,925
	5	227,10	421,60	376,20	12,07	23,34	1,934
	Média	228,14	423,80	378,26	12,04	23,28	1,933
	Desvio padrão	1,82	3,22	3,15	0,13	0,21	0,005
	Coefficiente de variação (%)	0,80	0,76	0,83	1,10	0,90	0,28

Tabela C.2-f - Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica - (1:2:9).

Argamassa	C.P.	Massa imersa(g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (kg/dm ³)
A29	1	200,90	396,00	337,20	17,44	30,14	1,728
	2	200,70	395,30	336,80	17,37	30,06	1,731
	3	203,00	400,70	341,00	17,51	30,20	1,725
	4	198,80	392,70	332,40	18,14	31,10	1,714
	5	197,20	389,30	330,80	17,68	30,45	1,722
	Média	200,12	394,80	335,64	17,63	30,39	1,724
	Desvio padrão	2,21	4,22	4,08	0,31	0,42	0,006
	Coefficiente de variação (%)	1,10	1,07	1,21	1,76	1,39	0,37
A30	1	224,40	419,60	372,20	12,74	24,28	1,907
	2	224,80	421,50	372,80	13,06	24,76	1,895
	3	225,30	421,80	373,80	12,84	24,43	1,902
	4	224,40	420,10	372,80	12,69	24,17	1,905
	5	225,60	421,60	374,40	12,61	24,08	1,910
	Média	224,90	420,92	373,20	12,79	24,34	1,904
	Desvio padrão	0,54	1,00	0,88	0,18	0,27	0,006
	Coefficiente de variação (%)	0,24	0,24	0,24	1,38	1,09	0,29

Tabela C.3-a - Ensaio de absorção por capilaridade - Absorção superficial (kg/m²) – (1:1:6)

Tempo (minutos)	Argamassa (1 : 1 : 6)															
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
10	8,65	7,49	5,01	4,43	9,92	5,33	4,36	8,11	5,09	3,06	5,88	3,12	4,33	2,45	5,81	2,57
20	12,29	11,59	7,75	6,75	13,71	7,91	6,01	11,84	6,57	3,99	8,54		6,03	3,19	7,66	3,96
30	14,89	14,96	9,64	8,84	16,76	9,66	7,46	14,74	8,38	4,99	10,45	5,17	7,67	4,06	8,90	
40	16,96	17,80	11,07	10,13	18,82	11,22	8,59	17,37		6,20	12,23	6,18	9,08	4,87	10,48	5,77
50	18,84	20,28	13,10	11,46	20,87	12,80	9,35	19,75	10,51	7,08	13,55	7,68	10,42	5,57		6,60
60	20,47	23,29	13,86	12,17	22,70	13,98	10,47	21,01	11,59	7,94	14,93	8,15	11,48	6,08	12,93	7,55
80	23,44	26,15	16,23	13,99	26,33	15,87	12,20	26,28	13,37	8,70	17,43	9,44	13,64	7,25	14,89	8,43
100	25,95	29,31	18,10	15,81	29,21	17,31	13,67	27,46		9,63	19,65	10,66	15,40	8,00	17,06	
120	27,44	31,97	19,78	17,07	31,63			29,71	15,60	10,59	21,61	11,67	17,01	8,90		10,57
125						19,56	15,18									
140			21,46	18,39		20,74	16,09		17,48	11,38	23,61	12,66	18,48			
160			22,69	19,57		21,88	16,92		18,58		24,75	13,52	19,81	9,99		12,42
180			23,66	20,59			17,81		19,69				21,02	10,82	22,79	
200				21,57			18,64		20,66			14,74	22,61			13,44
210														11,72	24,54	
220							19,41		21,42			15,75	23,72			
240							20,10		22,18					12,60	25,96	14,59
260									22,76			16,83		13,30		
280												17,86				15,63
300												18,25		14,10		
320																16,59
330														14,66		
360																17,55

Tabela C.3-b - Ensaio de absorção por capilaridade - Absorção superficial (kg/m²) – (1:2:9)

Tempo (minutos)	Argamassa (1 : 2 : 9)											
	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A25	A26	A27	A28	A29	A30
10	10,59	7,09	11,58	5,20	9,03	6,56	7,45	4,82	5,61	5,29	6,22	4,98
20	15,10	9,77	15,18	7,44	13,22	8,90	9,97	6,65	7,91	7,39	9,46	7,66
30	19,51	11,92	18,48	9,63	16,48	10,90	12,23	8,34	9,92	8,85	12,09	8,98
40	21,31	13,41	20,84	11,11	19,06	12,67	14,02	9,87	11,57	10,28	13,51	10,83
50	23,46	15,36	23,07	12,67	21,49	14,21	16,41	11,04	13,47	11,57	15,34	12,01
60	25,21	16,89	25,31	13,79	24,31	15,68	17,79	12,20	15,33	12,87	17,22	13,01
80	30,02	19,40	28,64	15,78	27,74	18,31	19,57	14,51		14,83	20,92	15,54
90									18,80			
100		21,65	31,64	17,71		20,59	22,97	16,13		16,47	22,76	17,87
110									21,02			
120		23,41		19,49	32,36	22,24	25,98	17,57	21,82	18,09		18,80
140				21,15		23,86		18,90			26,38	20,31
155										20,36		
160				22,49				20,24				21,72
185									27,76			
190				24,30								
200									28,74			

Tabela C.3-c - Ensaio de absorção por capilaridade – Coeficiente de absorção por capilaridade ($\text{kg/m}^2/\text{min}^{-0,5}$)

Argamassa	Coeficiente de correlação (R^2)	Equação da reta ajustada	Coeficiente de absorção ($\text{kg/m}^2/\text{min}^{-0,5}$)
A0	0,997	$Y = 2,4375 X + 1,3957$	2,438
A1	0,997	$Y = 3,1824 X - 2,3684$	3,182
A2	0,998	$Y = 1,8919 X - 0,759$	1,892
A3	0,996	$Y = 1,6074 X - 0,274$	1,607
A4	1,000	$Y = 2,7888 X + 1,2267$	2,789
A5	0,997	$Y = 1,7752 X - 0,0441$	1,775
A6	0,999	$Y = 1,3623 X - 0,0443$	1,362
A7	0,992	$Y = 2,8497 X - 0,7265$	2,850
A8	0,997	$Y = 1,3907 X + 0,6553$	1,391
A9	0,992	$Y = 0,9963 X - 0,1926$	0,996
A10	1,000	$Y = 2,0133 X - 0,5438$	2,013
A11	0,993	$Y = 1,1282 X - 0,6567$	1,128
A12	0,999	$Y = 1,6586 X - 1,2606$	1,659
A13	0,997	$Y = 0,8506 X - 0,4655$	0,851
A14	0,996	$Y = 1,6475 X + 0,2484$	1,648
A15	0,998	$Y = 1,0264 X - 0,6423$	1,026
A18	0,993	$Y = 3,2572 X + 0,643$	3,257
A19	0,999	$Y = 2,1424 X + 0,1905$	2,142
A20	1,000	$Y = 2,9593 X + 2,1647$	2,959
A21	0,999	$Y = 1,8416 X - 0,5813$	1,842
A22	0,999	$Y = 3,261 X - 1,3626$	3,261
A23	0,999	$Y = 2,069 X - 0,2802$	2,069
A25	0,995	$Y = 2,2535 X + 0,0659$	2,254
A26	0,999	$Y = 1,6852 X - 0,7599$	1,685
A27	0,996	$Y = 2,1285 X - 1,5001$	2,129
A28	0,999	$Y = 1,6533 X - 0,0515$	1,653
A29	0,996	$Y = 2,4482 X - 1,5907$	2,448
A30	0,997	$Y = 1,8417 X - 0,887$	1,842

Tabela C.4-a - Ensaio de compressão axial - (1:1:6)

Argamassa	Granulometria Areia	Resistência à compressão (MPa)							
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	c.p.05	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
0	Imbituba / Duna	0,29	0,27		0,28	-	0,28	0,01	3,57
1	BSI 1R / Pedra	1,73	1,52	1,50	1,63	-	1,60	0,11	8,46
2	BSI 1R / Duna	3,05	3,21	2,83	3,01	2,85	2,99	0,16	7,36
4	ABNT 1R / Pedra	1,30	-	1,40	1,52	1,44	1,42	0,09	8,13
5	ABNT 1R / Duna	3,34	2,84	3,10	2,87	3,06	3,04	0,20	5,65
6	ABNT 1R / Duna	4,08	3,98	4,05	3,99	-	4,03	0,05	1,37
7	BSI 2E / Pedra		1,66	1,92	1,83	2,01	1,86	0,15	8,36
8	BSI 2E / Duna	3,37	3,31	3,35	3,35	3,67	3,41	0,15	7,62
10	ASTM 1E / Pedra	2,84	2,70	2,95	2,76	2,94	2,84	0,11	4,86
11	ASTM 1E / Duna	4,62	4,80	-	5,01	4,70	4,78	0,17	4,76
12	DTU 1E / Pedra	2,55	2,14	2,24	2,44	2,44	2,36	0,17	9,40
13	DTU 1E / Duna	4,81	4,84	5,40	5,04	4,94	5,01	0,24	7,87
14	N6 / Pedra	3,01	-	2,84	2,78	2,73	2,84	0,12	5,99
15	N6 / Duna	4,86	4,59	4,69	4,55	4,86	4,71	0,15	3,40

Tabela C.4-b - Ensaio de compressão axial - (1:2:9)

Argamassa	Granulometria Areia	Resistência à compressão (MPa)							
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	c.p.05	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
18	BSI 1R / Pedra	0,75	-	0,71	0,67	-	0,71	0,04	5,63
19	BSI 1R / Duna	-	2,18	1,96	2,14	2,08	2,09	0,10	6,22
20	ABNT 1R / Pedra	0,61	0,68	0,57	0,62	0,64	0,62	0,04	8,97
21	ABNT 1R / Duna	-	0,75	-	0,80	0,82	0,79	0,04	5,06
22	BSI 2E / Pedra	0,50	0,54	0,56	0,50	0,53	0,53	0,03	4,94
23	BSI 2E / Duna	0,79	0,87	0,81	0,80	0,90	0,83	0,05	7,91
25	ASTM 1E / Pedra	0,75	0,75	-	0,72	0,72	0,74	0,02	2,04
26	ASTM 1E / Duna	1,00	-	1,01	0,93	0,94	0,97	0,04	4,12
27	DTU 1E / Pedra	0,85	0,94	0,91	0,84	0,90	0,89	0,04	5,41
28	DTU 1E / Duna	1,38	1,25	1,29	1,23	1,21	1,27	0,07	8,49
29	N6 / Pedra	0,88	0,89	0,89	0,81	0,84	0,86	0,04	6,03
30	N6 / Duna	0,91	0,87	0,82	-	-	0,87	0,05	5,38

Tabela C.5-a - Ensaio de compressão diametral - (1:1:6)

Argamassa	Granulometria Areia	Resistência à compressão diametral (MPa)							
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	c.p.05	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
0	Imbituba / Duna	0,10	0,09	0,08	-	-	0,09	0,01	11,11
1	BSI 1R / Pedra	0,23	0,21	0,20	0,23	0,22	0,22	0,01	8,26
2	BSI 1R / Duna	0,48	0,49	0,46	0,42	0,46	0,46	0,03	9,09
4	ABNT 1R / Pedra	0,21	0,19	0,20	-	0,20	0,20	0,01	5,00
5	ABNT 1R / Duna	0,47	0,47	-	0,42	0,43	0,45	0,03	6,15
7	BSI 2E / Pedra	0,26	-	0,27	0,24	0,26	0,26	0,01	6,80
8	BSI 2E / Duna	0,59	-	0,55	0,56	-	0,57	0,02	4,12
9	BSI 2E / Duna	1,10	0,85	1,20	-	-	1,05	0,18	19,05
10	ASTM 1E / Pedra	0,45	0,49	0,41	0,49	0,45	0,46	0,03	10,48
11	ASTM 1E / Duna	0,75	0,70	0,67	-	0,77	0,72	0,05	7,27
12	DTU 1E / Pedra	-	0,34	0,37	0,36	-	0,36	0,02	4,67
13	DTU 1E / Duna	0,84	0,81	0,78	0,82	0,78	0,81	0,03	3,23
14	N6 / Pedra	-	0,51	0,48	0,45	0,52	0,49	0,03	8,16
15	N6 / Duna	0,62	-	0,70	-	0,61	0,64	0,05	8,81

Tabela C.5-b - Ensaio de compressão diametral - (1:2:9)

Argamassa	Granulometria Areia	Resistência à compressão diametral (MPa)							
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	c.p.05	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
18	BSI 1R / Pedra	0,06	0,06	0,06	0,07	-	0,06	0,01	12,00
19	BSI 1R / Duna	0,13	0,09	-	0,12	-	0,11	0,02	20,59
20	ABNT 1R / Pedra	0,08	0,06	-	0,07	0,07	0,07	0,01	14,29
21	ABNT 1R / Duna	0,09	0,09	0,11	-	-	0,10	0,01	13,79
22	BSI 2E / Pedra	0,05	0,05	0,05	0,06	-	0,05	0,01	14,29
23	BSI 2E / Duna	0,10	0,10	-	0,12	0,11	0,11	0,01	11,63
25	ASTM 1E / Pedra	0,07	0,10	0,08	0,10	-	0,09	0,02	20,00
26	ASTM 1E / Duna	0,17	0,13	-	0,13	0,17	0,15	0,02	13,33
27	DTU 1E / Pedra	0,10	0,09	0,11	0,08	0,10	0,10	0,01	16,67
28	DTU 1E / Duna	0,12	-	0,14	0,14	0,14	0,14	0,01	11,11
29	N6 / Pedra	0,08	0,09	0,11	0,11	0,12	0,10	0,02	17,65
30	N6 / Duna	0,08	0,09	0,12	0,12	0,11	0,10	0,02	15,38

Tabela C.6-a - Ensaio de tração na flexão - (1:1:6)

Argamassa	Granulometria Areia	Resistência à flexão (MPa)								
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	c.p.05	c.p.06	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
0	Imbituba / Duna	0,47	0,54	0,53	0,51	-	-	0,51	0,03	8,29
1	BSI 1R / Pedra	0,48	0,43	0,47	0,52	-	0,40	0,46	0,05	13,04
2	BSI 1R / Duna	0,56	0,61	0,52	0,50	-	0,61	0,56	0,05	10,71
4	ABNT 1R / Pedra	0,47	0,43	0,42	0,45	0,43	0,51	0,45	0,03	12,92
5	ABNT 1R / Duna	0,77	0,76	0,74	0,75	0,89	0,83	0,79	0,06	12,66
7	BSI 2E / Pedra	0,45	0,43	0,44	0,42	0,50	0,50	0,46	0,04	9,49
8	BSI 2E / Duna	0,93	1,07	0,95	0,98	1,00	1,09	1,00	0,06	8,64
9	BSI 2E / Duna	1,83	1,85	1,80	-	-	-	1,83	0,03	1,46
10	ASTM 1E / Pedra	1,05	0,97	0,85	0,96	0,87	0,97	0,95	0,07	11,11
11	ASTM 1E / Duna	1,29	1,20	1,20	1,26	1,31	1,22	1,25	0,05	5,08
12	DTU 1E / Pedra	0,64	0,69	0,70	0,64	0,63	0,65	0,66	0,03	6,33
13	DTU 1E / Duna	1,42	1,51	1,48	1,42	-	-	1,46	0,04	3,60
14	N6 / Pedra	0,78	0,91	0,84	-	0,95	0,83	0,86	0,07	10,21
15	N6 / Duna	1,50	1,29	1,54	1,40	-	1,24	1,39	0,13	11,05

Tabela C.6-b - Ensaio de tração na flexão - (1:2:9)

Argamassa	Granulometria Areia	Resistência à flexão (MPa)								
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	c.p.05	c.p.06	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
18	BSI 1R / Pedra	0,22	0,20	0,21	0,22	-	0,20	0,21	0,01	4,76
19	BSI 1R / Duna	0,33	0,35	0,33	0,31	0,36	-	0,34	0,02	7,74
20	ABNT 1R / Pedra	0,21	0,20	0,20	-	0,18	0,18	0,19	0,01	8,25
21	ABNT 1R / Duna	0,25	0,26	0,24	-	0,27	-	0,26	0,01	5,88
22	BSI 2E / Pedra	0,17	0,17	0,19	0,19	0,20	-	0,18	0,01	8,70
23	BSI 2E / Duna	0,27	0,34	0,35	0,25	-	-	0,30	0,05	15,70
25	ASTM 1E / Pedra	0,17	0,20	0,20	0,20	-	0,18	0,19	0,01	10,53
26	ASTM 1E / Duna	0,31	0,35	0,32	0,32	0,37	0,35	0,34	0,02	7,92
27	DTU 1E / Pedra	0,26	0,27	0,24	0,26	0,29	0,31	0,27	0,02	14,11
28	DTU 1E / Duna	0,46	-	0,50	0,42	0,49	0,42	0,46	0,04	9,17
29	N6 / Pedra	0,25	0,22	0,21	-	0,22	0,25	0,23	0,02	8,70
30	N6 / Duna	0,25	0,24	0,26	0,28	0,22	0,26	0,25	0,02	11,26

Tabela C.7-a - Ensaio de determinação do módulo de deformação - (1:1:6)

Argamassa	Granulometria Areia	Módulo de deformação (MPa)						
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
1	BSI 1R / Pedra	742*	1.351	838	1.230	1.140	268	19
2	BSI 1R / Duna	1.948*	2.538	2.463	3.049	2.683	319	14
3	BSI 1R / Duna	6.001	5.001	3.704*	5.001	5.334	942	12
4	ABNT 1R / Pedra	875	1.025	874	919	923	71	11
5	ABNT 1R / Duna	3.866	3.839	4.810	4.846	4.340	564	12
6	ABNT 1R / Duna	5.064	5.883	18.607*	80.008*	5.474	579	7
7	BSI 2E / Pedra	1.607	15.386*	1.778	-	1.693	121	5
8	BSI 2E / Duna	6.955	4.231*	6.652	6.803	6.803	152	2
9	BSI 2E / Duna	6.673	6.382	7.472	6.880	6.852	461	9
10	ASTM 1E / Pedra	3.530	4.412	4.725	3.125*	4.222	620	16
11	ASTM 1E / Duna	3.953*	7.620	7.620	5.334*	7.620	0	0
12	DTU 1E / Pedra	3.180	3.081	3.477	3.988	3.432	407	16
13	DTU 1E / Duna	6.452	5.918	7.093	7.195	6.665	597	11
14	N6 / Pedra	3.704*	5.883	5.661	5.310	5.618	289	5
15	N6 / Duna	8.966*	10.777	12.151	13.543	12.157	1383	11

* valores eliminados da média

Tabela C.7-b - Ensaio de determinação do módulo de deformação - (1:2:9)

Argamassa	Granulometria Areia	Módulo de deformação (MPa)						
		c.p.01	c.p.02	c.p.03	c.p.04	Média	Desvio padrão	Desvio relativo máximo (%)
18	BSI 1R / Pedra	1272	1228	1652*	1215	1238	30	2
19	BSI 1R / Duna	1216*	4455	4446	2928*	4451	6	0
20	ABNT 1R / Pedra	1024	1465	1283	1076	1212	202	16
21	ABNT 1R / Duna	2178	2282	2334	1185*	2265	79	4
22	BSI 2E / Pedra	897	807	743	1105*	816	77	10
23	BSI 2E / Duna	1880	1803	1424	1327*	1702	244	16
25	ASTM 1E / Pedra	1699	1744	6864*	3145*	1722	32	1
26	ASTM 1E / Duna	5080	3743*	7157*	5046	5063	24	0
27	DTU 1E / Pedra	2149	2000	2402	2439	2248	209	11
28	DTU 1E / Duna	4537	3444	4441	12746*	4141	605	17
29	N6 / Pedra	1589	1957	1671	1524	1685	191	16
30	N6 / Duna	2099	1416*	2270	1701	2023	292	16

* valores eliminados da média