

THE USE OF QUARRY FINES IN MORTARS

D'Agostino, L.Z.; Soares, L.; D'Agostino, L.F.

Depto. de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

RESUMEN

EMPLEO DE FINOS DE CANTERA EN ARGAMASAS DE ASENTAMIENTO

Los estudios relacionados con este proyecto tenían como finalidad la obtención de datos técnicos, capaces de justificar la posible utilización de finos de cantera, de dos litologías diferentes, en la oportunidad de su utilización como agregados finos obtenidos a partir de grava. Los finos de cantera que se eligieron, fueron los que se obtuvieron de la molienda de rocas graníticas y basálticas, dado que son representativas de las dos litologías que están más presentes como fuente para la grava del Estado de São Paulo. Las características tecnológicas de estos materiales se compararon con las de la arena aluvial, que es el tipo de arena que más se comercializa actualmente como agregado fino. Se estudiaron las características más importantes de estos tres tipos de arenas: tamaño del grano, redondez y esfericidad de sus granos y en estudios complementarios se incluyeron análisis mineralógicos de las fuentes de roca de los finos de cantera. Los estudios definieron las propiedades de la resistencia a la compresión, adherencia a la resistencia a la tracción, contenidos de aire incorporado y capacidad de retención de agua, además de estudios petrográficos en estado endurecido.

Palabras claves: finos de cantera, argamasa, arena aluvial, redondez, esfericidad

ABSTRACT

The studies relative to this project were aimed at the obtainment of technological data capable of justifying the possible utilization of quarry fines of two distinct lithologies on occasion of their employment as fine aggregates obtained of crushed rock. The quarry fines chosen were those resulting from granitic and basaltic rock crushing, given that they are representative of the two lithologies most prevalent as sources for crushed rock in the state of São Paulo. The technological features of these materials were compared with those of alluvial sand, the type of sand currently most commercialized as fine aggregate. The most important features of these three types of sands were studied: grain size, roundness and sphericity of their grains and complementary studies included mineralogical analyzes of the

quarry fines' rock sources. The studies defined the properties of compression resistance, adherence to traction resistance, contents of incorporated air and water retention capacity, in addition to petrographic studies in the hardened state.

Keywords: quarry fines, mortar, alluvial sand, roundness, sphericity

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo é, atualmente, o maior centro consumidor de areia para a construção civil no Brasil. Em 2001, foram consumidos aproximadamente 39 milhões de toneladas (Valverde 2002a), o que correspondeu a 49% da produção de areia do Estado de São Paulo (Valverde 2002b). Deste volume, cerca de 90% provém de regiões distantes do centro consumidor, boa parte delas localizada a mais de 100 km, fato que incorpora a este material significativos custos de transporte, provocando assim, aumento de seu preço (Soares et al. 1996), uma vez que o transporte corresponde aproximadamente a 2/3 do seu preço final (Valverde 2002a, 2003). Este quadro impõe a necessidade do local de produção de areia ser o mais próximo possível do mercado consumidor. Apesar desta necessidade de proximidade entre produtor e consumidor, o constante e acelerado crescimento dos centros consumidores torna-se um problema para as lavras de areia. A ocupação populacional em torno dos locais de extração, as restrições e leis de proteção ambiental cada vez mais atuantes e o esgotamento gradual das jazidas provocam o fechamento dos empreendimentos de lavra próximos dos centros consumidores, fazendo com que novas áreas de extração se instalem a distâncias cada vez maiores dos pontos de consumo (Soares et al. 1997). Paralelamente a este quadro, deve-se ressaltar que a brita é o segundo agregado mais produzido e consumido na construção civil, perdendo somente para a areia: em 2001, o Estado de São Paulo produziu 52,7 milhões de toneladas de brita e a Região Metropolitana de São Paulo consumiu 51% deste volume, ou seja, cerca de 27 milhões de toneladas (Valverde 2002b). No seu processo de produção, a rocha geradora é, depois de lavrada, beneficiada, quando é então submetida a uma seqüência de etapas alternadas de britagem e classificação. Depois de classificada granulometricamente, a brita está pronta para o consumo: é estocada em grandes pilhas e vendida. Nestas etapas de britagem é gerada uma fração de material fino, geralmente composta por grãos de diâmetro menor que 5 mm, os chamados finos de pedreira. Este material é estocado em grandes pilhas a céu aberto mas como não possui mercado consumidor constante, estas pilhas ficam sujeitas à ação das intempéries, causando impactos ambientais como assoreamento das drenagens próximas às pedreiras e poluição do ar pela emissão de material particulado provocada pela ação dos ventos, além da poluição visual e da importante ocupação de áreas da pedreira (Soares et al. 1996).

Tendo em vista o mercado de agregados para a construção civil, o conhecimento tecnológico destes finos é fundamental, pois sua granulometria, mineralogia, forma e textura de seus grãos, diretamente influenciadas pelo tipo de rocha e diferentes processos de britagem aos quais as rochas são submetidas, têm efeito significativo no desempenho de argamassas e concretos (Gonçales et al. 2000). Assim, a utilização dos finos de pedreira no preparo de argamassas de assentamento seria ecologicamente correta e economicamente vantajosa.

2. GEOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, foram estudados três tipos de material arenoso. Um deles foi a areia aluvionar da região de Jacareí-SP, representando as areias Quaternárias da várzea do rio Paraíba do Sul por ser este um dos dois pólos principais de produção de areia para a construção civil no Estado de São Paulo. Os outros dois foram finos de pedreira de rocha granítica da região de Perus-SP, que representam as rochas do embasamento cristalino do Estado de São Paulo (granitóides da Fácies Cantareira das Suítes Graníticas Sintectônicas) e finos de pedreira de rocha basáltica da região de Campinas-SP, representando as rochas basálticas da Bacia do Paraná (rochas associadas aos derrames basálticos toleíticos da Formação Serra Geral na borda sudeste da Bacia do Paraná).

3. MÉTODOS E RESULTADOS

Os três tipos de areia estudados foram caracterizados segundo sua distribuição granulométrica, grau de arredondamento e esfericidade de seus grãos. As argamassas preparadas com cada tipo de areia foram alvo de ensaios tecnológicos para determinação da resistência à compressão, resistência de aderência à tração, da retenção de água e do teor de ar incorporado na massa. Estudos de microscopia das argamassas no estado endurecido complementaram a caracterização.

3.1. Análise granulométrica

Para a análise granulométrica das areias respeitou-se a norma *NBR-7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica* (ABNT 1987). A areia aluvionar foi classificada como areia fina a média segundo seu módulo de finura (2,3) e sua curva granulométrica (Figura 1) não indicou uma boa distribuição, apresentando crescimento abrupto nas peneiras de malhas 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm. Constatou-se 1,5% de microfinos em sua composição (grãos menores que 0,074 mm).

Os finos de pedreira graníticos segundo o módulo de finura (2,7) foram classificados como areia média a grossa e sua curva granulométrica (Figura 1), com comportamento praticamente linear, indicou boa distribuição. Esta areia apresentou em sua composição 3,8% de microfinos.

Os finos de pedreira basálticos foram classificados como areia média a grossa segundo seu módulo de finura (2,8). Sua curva granulométrica (Figura 1) apresentou crescimento praticamente linear, indicando boa distribuição, com pequena curvatura entre as aberturas 1,2 mm e 0,6 mm e apresentou 10% de microfinos em sua composição.

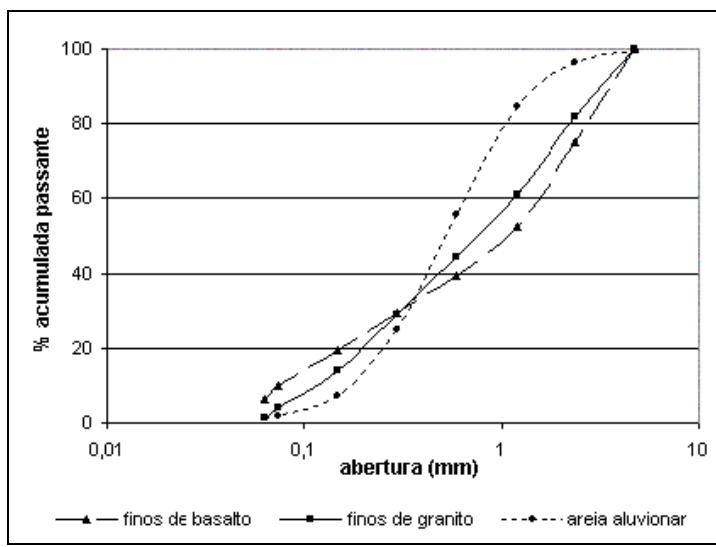


Figura 1. Distribuição granulométrica dos três tipos de areia estudados.

3.2. Análise de arredondamento e esfericidade

Os grãos que compõem as frações 1,2 a 0,6 mm, 2,4 a 1,2 mm e 4,8 a 2,4 mm de cada tipo de areia foram estudados através do método da análise de imagens (Araújo et al. 2003), utilizando-se o programa Qwin (Leica), para determinação de seus graus de arredondamento e de esfericidade. O arredondamento, foi calculado segundo a fórmula:

$$\text{Arredondamento} = \frac{\text{Perímetro} \times \text{Perímetro}}{4 \times \pi \times \text{Área} \times 1,064} \quad (1)$$

onde o fator de ajuste, 1,064, corrige o perímetro com relação à deformação dos cantos decorrente da digitalização da imagem (Leica 1996).

O arredondamento é um fator de forma dos grãos onde um círculo perfeito tem arredondamento igual a 1 e qualquer outro número maior que 1 representa um grão com baixo arredondamento, ou seja, com superfície rugosa. Se dois grãos com a mesma área

apresentarem arredondamentos diferentes, o grão que mostrar o maior perímetro terá o menor arredondamento (valor maior que 1) e aquele com menor perímetro terá o maior arredondamento (valor próximo de 1).

A relação de aspecto, outro parâmetro adimensional, foi calculada aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Relação de aspecto} = \frac{L}{B} \quad (2)$$

onde: L é o comprimento (*length*) do grão; B é a largura (*breadth*) do grão (Leica 1996).

A relação de aspecto mostra a relação entre eixos de um grão. Quanto maior for esta relação, mais alongado será o grão. Um círculo perfeito teria sua relação de aspecto igual a um. Assim, pode-se relacionar este parâmetro com a esfericidade. Relações de aspecto com valores próximos de 1 representam grãos de alta esfericidade (forma do grão é próxima de uma esfera); já valores maiores que 1 representam grãos de baixa esfericidade (forma do grão é alongada). Deve-se ressaltar que a relação de aspecto, assim como o arredondamento, foram parâmetros calculados baseados em imagens 2D (bidimensional) e por isso, a relação entre o comprimento e a largura é denominada relação de aspecto e não esfericidade, já que para avaliação desta última, o grão deveria ser avaliado tridimensionalmente.

Para a fração 1,2 a 0,6 mm verificou-se um comportamento muito parecido entre as curvas das três areias (Figura 2). Mesmo assim, os grãos constituintes da areia aluvionar foram considerados mais arredondados que aqueles dos finos de granito e estes, mais arredondados que os grãos dos finos de basalto. Com o gráfico da relação de aspecto concluiu-se que os grãos constituintes da areia aluvionar eram mais esféricos que os grãos dos finos de granito e estes, por sua vez, mais esféricos que os dos finos de basalto.

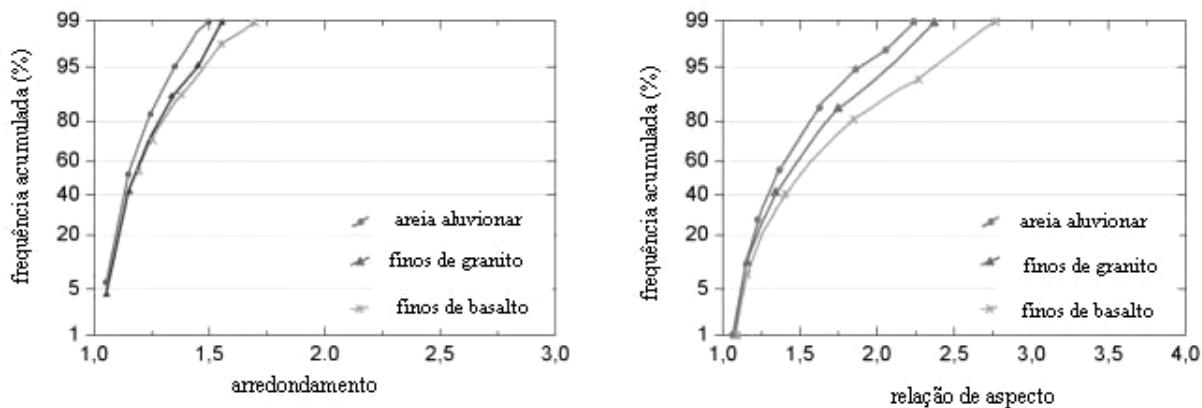


Figura 2. Arredondamento e relação de aspecto para a fração 1,2 a 0,6 mm das três areias.

Para a fração 2,4 a 1,2 mm (Figura 3) verificou-se no gráfico de distribuição do arredondamento um comportamento muito parecido entre as curvas dos finos de granito e basalto, diferente se comparado com a curva da areia aluvionar. Os três tipos de areia apresentaram 95% de seus grãos com superfície pouco angulosa. Também constatou-se que 95% dos grãos da areia aluvionar são mais arredondados que os dos finos de granito e basalto. No gráfico de distribuição da relação de aspecto cada tipo de areia apresentou uma distribuição diferente, embora as três mostrem o mesmo padrão da curva de distribuição. Assim, os grãos constituintes da areia aluvionar são mais esféricos que os grãos dos finos de granito e estes, por sua vez, mais esféricos que dos finos de basalto.

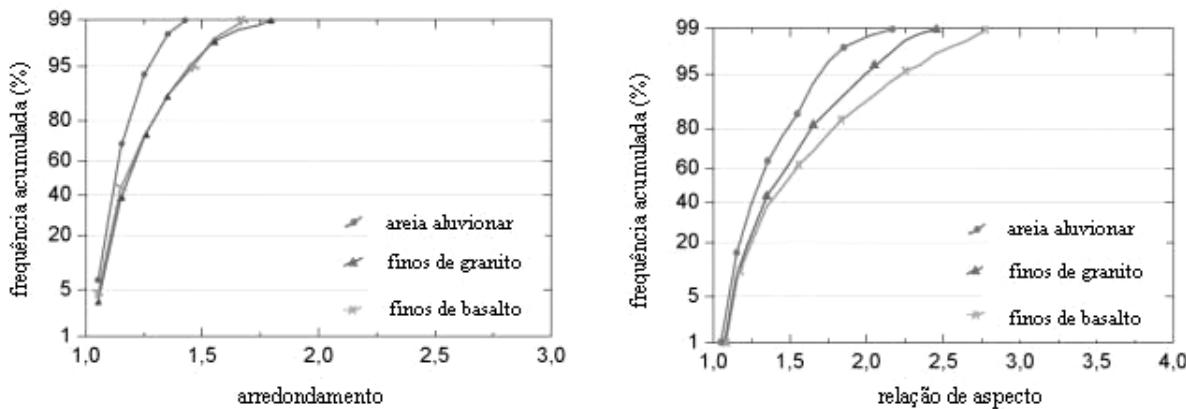


Figura 3. Arredondamento e relação de aspecto para a fração 2,4 a 1,2 mm das três areias.

No gráfico de distribuição do arredondamento da fração 2,4 a 1,2 mm (Figura 4), observa-se um comportamento muito parecido entre as curvas dos finos de granito e da areia aluvionar, bastante diferente da curva dos finos de basalto. Deste modo, os grãos dos finos de basalto podem ser considerados mais arredondados que os grãos da areia aluvionar e estes, por sua vez, mais arredondados que dos finos de granito. Verificou-se no gráfico de

distribuição da relação de aspecto que cada tipo de areia apresenta uma distribuição diferente. Assim, os grãos da areia aluvionar são mais esféricos que os grãos dos finos de basalto e estes, por sua vez, mais esféricos que dos finos de granito.

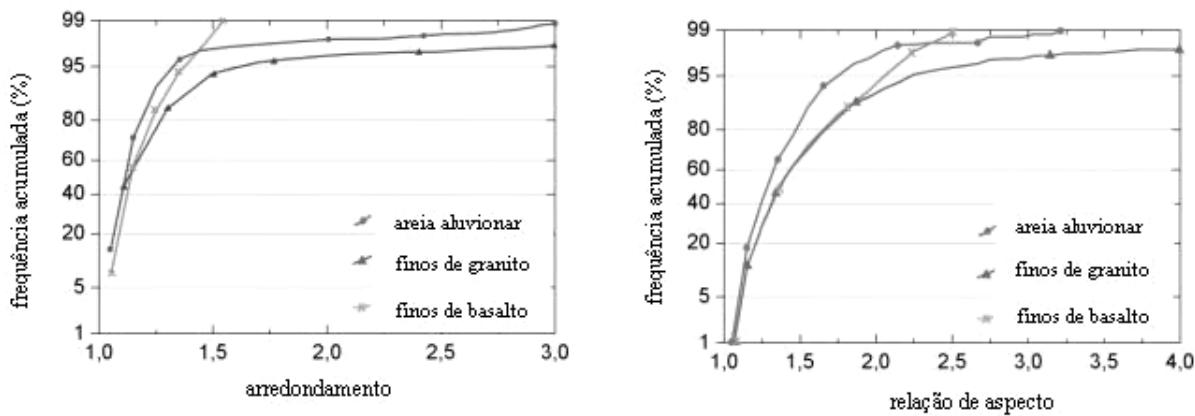


Figura 4. Arredondamento e relação de aspecto para a fração 4,8 a 2,4 mm das três areias.

3.3. Determinação da resistência à compressão

Foram preparadas argamassas com os três tipos de areia estudados. Para este ensaio respeitou-se a norma técnica brasileira *NBR-13279* – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão (ABNT 1995a). A argamassa preparada com finos de basalto mostrou os maiores valores de resistência à compressão; a preparada com areia aluvionar mostrou os menores valores e a preparada com finos de granito apresentou valores intermediários (Figura 5). Mesmo com os maiores valores, a argamassa com finos de basalto obteve o menor ganho de resistência dos 7 aos 28 dias, 50%. Para este período, a argamassa com finos de granito obteve um ganho de resistência de 52% e a com areia aluvionar, um ganho de 57%.

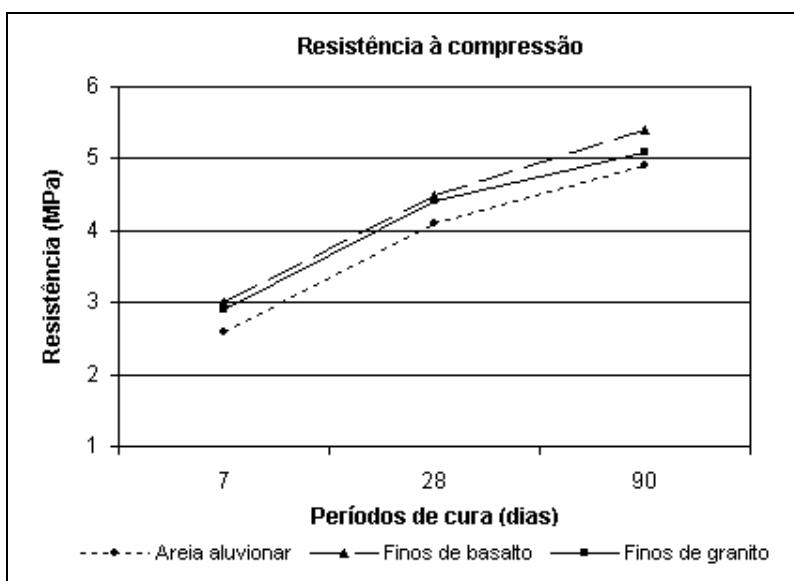


Figura 5. Gráfico comparativo das resistências à compressão das argamassas.

3.4. Determinação da resistência de aderência à tração

Os procedimentos para este ensaio foram regidos pela norma técnica brasileira *NBR-13528* – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT 1995b). Uma parede recebeu primeiramente o chapisco e depois as argamassas, permanecendo ao ar livre durante 28 dias para a realização do ensaio. Baseando-se nos resultados deste ensaio, não há, na norma *NBR-13281* – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (ABNT 2001), intervalos ideais de resistência de aderência para argamassas de assentamento e de revestimento. A norma brasileira *NBR-13749* – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação (ABNT 1996) prevê, para diferentes tipos de acabamento, valores de resistência de aderência à tração iguais ou superiores a 0,2 MPa. Outra referência para valores de resistência de aderência à tração que também pode ser utilizada, são os dados técnicos das argamassas de assentamento produzidas pelas empresas que atuam neste setor onde as argamassas industrializadas de assentamento de múltiplo uso apresentam resistência de aderência de 0,3 a 0,5 MPa.

A argamassa preparada com finos de granito apresentou 0,3 MPa de resistência de aderência à tração, a preparada com finos de basalto apresentou 0,2 MPa e a preparada com areia aluvionar, 0,2 MPa. Mesmo com pequenas diferenças, os três tipos de argamassa apresentaram resultados de aderência satisfatórios, dentro dos critérios apresentados na norma *NBR-13749* – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas –

Especificação (ABNT 1996) e por fabricantes de argamassas industrializadas de múltiplo uso.

3.5. Determinação da retenção de água e do teor de ar incorporado

O ensaio para determinação da retenção de água foi regido pela norma *NBR-13277* – Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água (ABNT 1995c) e para determinação do teor de ar incorporado aplicou-se a norma *NBR-13278* – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (ABNT 1995d). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Retenção de água e teor de ar incorporado das argamassas estudadas.

	Argamassa com finos de granito	Argamassa com finos de basalto	Argamassa com areia aluvionar
Traço em volume	1:1,7:6,4	1:1,7:5,7	1:1,7:5,6
Retenção de água (%)	94,3	92,3	94,4
Teor de ar incorporado (%)	6,5	6,8	10,3

As três argamassas mostraram valores de retenção de água maiores que 90%, podendo ser identificadas como argamassas de alta retenção segundo a norma *NBR-13281* – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (ABNT 2001). As argamassas preparadas com finos de pedreira mostraram teores de ar incorporado menores que 8%, identificadas como argamassas tipo "a" e a preparada com areia aluvionar mostrou valor entre 8 e 18%, sendo identificada como argamassa tipo "b" segundo a norma *NBR-13281* (ABNT 2001).

3.6. Microscopia dos corpos de prova das argamassas

Com os corpos de prova que permaneceram em laboratório com atmosfera controlada durante 90 dias foram preparadas lâminas delgadas com impregnação a vácuo e corante, para facilitar a análise em microscópio. Os objetivos da petrografia foram: observar o comportamento da massa de cimento em relação ao grão de areia, avaliando o grau de envolvimento do grão pela massa de cimento e constatar vazios na argamassa, o que pode prejudicar seu desempenho tecnológico, principalmente resistência e capacidade de aderência.

A argamassa preparada com areia aluvionar apresentou grande quantidade de vazios, se comparada às outras duas argamassas, inclusive vazios de interface bastante evidente ao redor de torrões de argila, ocorrendo também, de forma menos proeminente ao redor de outros grãos. A pasta de cimento mostrou-se densa, ou seja, apresentou cor escura. A argamassa preparada com finos de granito mostrou quantidade de vazios bastante inferior se comparada à argamassa preparada com areia aluvionar. Alguns vazios de interface foram identificados contornando partes dos grãos, nunca rodeando-os por completo. A pasta de cimento mostrou-se menos densa (cor mais clara) se comparada com a pasta da argamassa preparada com areia aluvionar. A argamassa preparada com finos de basalto mostrou quantidade de vazios bastante inferior se comparada às outras duas argamassas. Nenhum vazio foi identificado, inclusive vazios de interface contornando grãos ou parte deles, sendo perfeito o contato entre o agregado e a pasta. A pasta de cimento mostrou-se mais densa (cor escura) se comparada com a pasta da argamassa preparada com finos de granito e comparando-se com a pasta da argamassa preparada com areia aluvionar a cor não apresentou diferenças.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que os três tipos de areia estudados podem ser utilizados no preparo de argamassas de assentamento. Ressalta-se que as argamassas preparadas com os finos de pedreira de rocha granítica e basáltica apresentaram algumas características aprimoradas quando comparadas às daquela preparada com areia aluvionar. Estas características foram: maior resistência à compressão, menor teor de ar incorporado e menor quantidade de vazios. Além disso, a argamassa preparada com finos de granito se destacou pois para adquirir consistência ideal e resistência à compressão próxima de 4 MPa aos 28 dias, respeitou-se o traço 1:1,7:6,4 (em volume) que proporcionou resistência à compressão, aos 28 dias, de 4,4 MPa, valor muito próximo daquele apresentado pela argamassa com finos de basalto (4,5 MPa) proporcionando maior rendimento da mistura e, relativamente, menor consumo de cimento (cerca de 12%).

Assim, as áreas do Estado de São Paulo onde afloram rochas do embasamento cristalino e basaltos podem utilizar os finos de pedreira originados da produção de brita no preparo de argamassas de assentamento. O uso alternativo deste material como agregado miúdo para

argamassas poderá diminuir o custo da argamassa possibilitando sua utilização pela população mais carente e contribuir para reduzir ou até esgotar as grandes pilhas de estoque deste material nas pedreiras produtoras de brita, diminuindo os impactos ambientais causados por elas e proporcionando novo mercado para os produtores de agregado.

Concluiu-se assim, que os finos de pedreira estudados representam um tipo de material arenoso que, dentre os vários usos, podem ser utilizados como agregado miúdo no preparo de argamassas de assentamento. Espera-se que a metodologia apresentada possa servir como diretriz para os ensaios iniciais de comprovação de desempenho tecnológico, para o uso proposto, de outros finos de pedreira gerados no processo de obtenção de brita.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, G.S.; BICALHO, K.V.; TRISTÃO, F.A. 2003. Determinação da forma das areias através da análise de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5. São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP / ANTAC. Anais: 121-129.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. Agregados – Determinação da composição granulométrica – NBR 7217. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1995a. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão – NBR 13279. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1995b. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – NBR 13528. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1995c. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água – NBR 13277. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1995d. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado – NBR 13278. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1996. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação – NBR-13749. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2001. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos – NBR 13281. Rio de Janeiro.
- GONÇALES, M.; ARTHUSO, V.; DEGUTI, R.; OHASHI, T. 2000. Produção de areia de brita com qualidade. Areia & Brita 10:20-25.
- LEICA QWIN. 1996. User guide & Reference guide. Leica Imaging Systems Ltd. Cambridge.
- SOARES, L.; FUJIMURA, F.; HENNIES, W.T.; SILVA, M.A.R. 1996. Change of natural sands by fine crushing material of granitic and gneissic rock quarries. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, 5, Balkema, Rotterdam,. Anais: 701-706.

- SOARES, L. FUJIMURA, F.; BLASQUES JÚNIOR, M.; RACHEL, R.M.; BRAGA, J.M.S. 1997. Areias naturais: material de construção cada vez mais escasso na Região Metropolitana da Grande São Paulo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS, 2., São Paulo, 1997. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e de Materiais. Anais: 54.
- VALVERDE, F.M. 2002a. Agregados para construção civil. Sumário Mineral 2002. Departamento Nacional da Produção Mineral. Disponível em:<www.dnpm.gov.br>. Acesso em: abr. 2003.
- VALVERDE, F.M. 2002b. Produção e consumo de agregados para a construção civil no Brasil. São Paulo. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Out. 2002. /Depoimento.
- VALVERDE, F.M. 2003. Agregados para construção civil. Sumário Mineral 2003. Departamento Nacional da Produção Mineral. Disponível em:<www.dnpm.gov.br>. Acesso em: dez. 2003