

# Evaluation of a method based on image analysis to obtain shape parameters in crushed sand grains

## *Avaliação de um método baseado em análise de imagens para obtenção de parâmetros de forma em grãos de areia de britagem*

A. G. GOLDONI<sup>a</sup>  
goldoni@upf.br

L. M. PANDOLFO<sup>a</sup>  
marcondes@upf.br

A. P. GOMES<sup>a</sup>  
alinegomes1977@hotmail.com

D. FOLLE<sup>a</sup>  
daiane.folle@imed.edu.br

M. S. MARTINS<sup>a</sup>  
marcelemartins@imed.edu.br

A. PANDOLFO<sup>a</sup>  
pandolfo@upf.br

### Abstract

The objective of this paper is to evaluate a method based on image analysis to obtain shape parameters in crushed sand grains. There is no consensus about standards and rules for testing aggregates, the lack of methodology to prepare and conduct tests may produce incorrect results, which do not satisfactorily represent the aggregate characteristics. One way to perform these analyzes is the use of images obtained with magnifying glasses or similar equipment. To contribute to this, three experiments were prepared with samples of crushed sand from the city of Passo Fundo. The fixed and evaluated parameters were: samples preparation, zoom used for image acquisition and number of grains representative of the shape parameters. The results were statistically analyzed and significant differences were obtained to the shape factor regarding the fixed parameters, except for the number of grains needed to characterize it, which differs from the currently literature used by academic studies. According to this work it is possible to realize that it is necessary to standardize the tests for shape analysis to eliminate errors generated by the interpretation of incorrect results, which may have been generated by changes in the methodology for conducting the tests.

**Keywords:** crushed sand, crushed sand grain shape, image analysis.

### Resumo

Esse trabalho avalia um método de análise de imagens para obtenção de parâmetros de forma em grãos de areia. Avaliando-se os ensaios utilizados em trabalhos científicos, pode-se considerar a não existência de um consenso nos parâmetros utilizados para avaliação da forma dos grãos de agregados miúdos, ressalta-se que a falta de metodologia definida para a realização dos ensaios pode gerar resultados equivocados, que não representem satisfatoriamente as características dos agregados. Uma das maneiras de realizar essas análises trata-se da utilização de análise de imagens obtidas a partir do uso de lupas ou equipamentos semelhantes. Para contribuir nesse sentido, foram preparados três experimentos, com amostras de areia de britagem da cidade de Passo Fundo. Os parâmetros fixados foram a preparação das amostras, os aumentos utilizados para aquisição das imagens e o número de grãos representativos dos parâmetros de forma. Os resultados dos experimentos elucidaram a necessidade de estudos mais aprofundados a respeito da padronização do ensaio. E comprovaram a necessidade da padronização dos ensaios para análises de forma em agregados miúdos. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente e obtiveram-se diferenças significativas para o fator de forma em relação aos parâmetros fixados, exceto em relação ao número de grãos necessários para caracterizá-lo, o que difere da bibliografia atualmente utilizada por trabalhos acadêmicos. Com o presente trabalho pode-se perceber que existe a necessidade de padronizar os ensaios para análises de forma, de modo a eliminar erros gerados pela interpretação de resultados equivocados, que podem ter sido gerados por pequenas variações na metodologia utilizada para a realização dos ensaios.

**Palavras-chave:** areia de britagem, forma dos grãos de areia de britagem, análise de imagens.

<sup>a</sup> Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil.

## 1. Introdução

Muitos estudos já concluíram que os agregados usados em concretos e argamassas não são apenas materiais inertes, dentre as várias funções exercidas pelos agregados estão preencher vazios, contribuir para uma curva granulométrica contínua dos sólidos, restringir retração plástica, etc. É consenso que são eles os responsáveis por várias dessas propriedades, seja no estado fresco ou no estado endurecido. Estão presentes em proporções significativas em argamassas e concretos, podendo, em argamassas, corresponder a 80% da massa total da mistura (CINCOTTO, CARNEIRO [1]). Comparando-se com o agregado obtido por processos de britagem, a areia natural sempre foi o principal agregado miúdo utilizado na confecção de argamassas e concretos. Segundo alguns autores, como Mehta e Monteiro [2] essa preferência pela areia natural advém de seus grãos mais arredondados e o baixo teor de material pulverulento. O baixo teor de finos diminui o consumo de água na mistura, beneficiando algumas das principais propriedades de concretos, como resistência mecânica e à fissuração.

O fato da exploração não controlada de areia natural em jazidas e rios ser uma atividade que ocasionou degradação do meio ambiente em várias regiões gera a necessidade da busca por materiais alternativos. A areia de britagem vem se apresentando há anos como uma solução para o problema do aumento exponencial dos custos com transportes da areia natural, de cada vez mais difícil obtenção em grandes centros.

As propriedades da areia natural e sua influência nos concretos e argamassas sempre foi estudada por vários autores. Para areia de britagem, os trabalhos são mais recentes. Entre as propriedades das areias encontram-se: características granulométricas, morfológicas, textura superficial e outras, derivadas dessas, como a compactidade e o coeficiente de inchamento. As principais propriedades abordadas são a composição granulométrica e a compactidade, dando-se geralmente menor relevância para a forma dos grãos, pois normalmente não realizam-se ensaios de caracterização da forma e textura para os estudos mais usuais. É consenso da literatura que os grão de agregados oriundos de britagem apresentam forma e textura superficial diferente do agregado de origem natural. Com a utilização da areia de britagem, o estudo da forma e textura dos agregados graúdos torna-se mais importante para classificar, observar as mudanças e identificar as influências da forma nas propriedades dos materiais com ela produzidos.

Os principais fatores que influenciam a forma dos grãos de um agregado, os principais são a rocha de origem e o processo de fragmentação que o material sofreu. Em relação ao processo de britagem, pode-se afirmar que várias empresas adotam britadores com tecnologias avançadas e processos que melhoram a forma dos grãos, para obter agregados de melhor qualidade e desempenho. Ainda pode-se afirmar que constantemente a forma angulosa da areia de britagem é justificativa para seu mau comportamento em relação ao consumo de cimento e água. Com ferramentas precisas e estudos aprofundados de sua influência, acredita-se ser possível definir a real importância da forma no comportamento de concretos e argamassas.

Normalmente, as principais características avaliadas dos agregados eram a granulometria e módulo de finura, o que, segundo Chaves [3] e Silva [4] é considerada uma das principais limitações para a obtenção da real influência da areia de britagem em argamassas e concretos. Os mesmos autores ainda comentaram que

faltam metodologias simples e rápidas que sirvam para analisar a forma e quantificar as características dos grãos. Por não existirem normas nacionais para a realização do ensaio de caracterização de forma em agregados miúdos, cada autor utiliza um método diferente para preparação das amostras, dando talvez margem para resultados não significativos. Ainda questiona-se se essas diferenças de ensaio entre os trabalhos que estudam a forma de agregados miúdos geram diferenças nos resultados e se, dessa forma, pode-se comparar esses trabalhos.

Portanto, lacunas ainda existem nos métodos de determinação da forma. E são elas que justificam a realização desse trabalho. Entre as dúvidas a serem esclarecidas para o entendimento da forma dos grãos dos agregados destacam-se: se há efeito do tipo de preparação da amostra, quais devem ser os aumentos utilizados na aquisição das imagens e, principalmente, qual seria o número necessário de grãos a serem utilizados.

### 1.1 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo analisar os resultados obtidos em um método de análise de imagens de caracterização da forma de grãos de areia, verificando sua variabilidade com as alterações de captação da imagem (aproximação), organização dos grãos e número de grãos.

## 2. Metodologia

### 2.1 Seleção e preparação da areia

A areia que foi utilizada na obtenção das imagens deste trabalho foi coletada na cidade de Passo Fundo no Rio Grande do Sul e corresponde ao tipo mais utilizado na região. Fizeram parte das etapas de preparação das amostras: a coleta, lavagem, secagem em estufa, quarteamento e peneiramento da areia, de maneira a separá-la em frações granulométricas.

A areia foi lavada na peneira 0,6 mm, obtendo-se as frações que foram utilizadas no trabalho, correspondendo a grãos de 0,6 mm, 1,2 mm e 2,4 mm. A secagem em estufa aconteceu durante 24 horas, sendo que o quarteamento foi feito com um quarteador de amostras obtendo-se 10g de areia para a confecção de cada lâmina.

### 2.2 Definição do número de grãos necessários

Para o cálculo do número de grãos utilizou-se a Equação 1:

$$n = \frac{t_{x_2}^2 * CV^2}{Er^2} \quad (1)$$

Onde:

$t_{x_2}^2$  = valor de significância retirado da tabela T de Student.

$CV$  = coeficiente de variação

$Er$  = Erro relativo

### 2.3 Preparação dos grãos para aquisição das imagens

De maneira a verificar a influência da preparação das amos-

tras foram analisadas duas formas de preparo, com os grãos orientados e com os grãos aleatoriamente dispostos. Os grãos de cada fração foram colados sobre fita dupla-face em placas de vidro a serem posicionadas sob a lupa para aquisição das imagens, buscando-se sempre colocar a maior dimensão do grão no plano. Os grãos analisados sob preparação aleatória foram lançados sobre uma lâmina de vidro a uma altura constante de, aproximadamente, 3 cm. A areia foi dividida em 3 frações retidas nas peneiras da série normal (2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm).

### 2.4 Aquisição e análise das imagens

Essa etapa foi precedida da seleção da resolução e dos aumentos (zoom) adequados à análise das imagens. O equipamento utilizado para essa pesquisa foi uma lupa modelo XTL-101, com um zoom entre (0,7 e 4,5) vezes, possibilidade de iluminação direta e indireta, com ajuste de intensidade, além de suporte para câmera digital própria, que obtém as imagens em formato digital para análise em computadores.

A etapa seguinte do trabalho foi a obtenção das imagens com a utilização da lupa e do software LABView. No momento dessas aquisições foram testadas várias configurações, como: brilho, contraste e saturação. Visando obter uma padronização do processo e eliminar principalmente algumas distorções presentes nas bordas dos grãos, problema presente nas imagens captadas pela câmera digital. As bordas apresentam uma cor diferenciada do resto do grão, o que pode não ser entendido pelo programa de análise de imagem como limite do grão.

Da mesma forma, outro ajuste importante que se fez necessário foi a escolha do tipo de iluminação a ser utilizada nas aquisições: iluminação direta, indireta ou as duas ao mesmo tempo. Assim como a intensidade que apresentava melhores definições no momento da captura.

A aquisição das imagens para o cálculo dos parâmetros de forma dos grãos de areia de britagem foi realizada com as condições consideradas ideais de brilho, saturação, contraste e iluminação.

O cálculo dos parâmetros de forma passa antes por um tratamento da imagem e pela utilização de um programa de análise de imagem. O programa utilizado neste trabalho foi o programa Image J, encontrado na rede mundial de computadores.

O procedimento de análise de imagens consta das seguintes etapas:

- alteração do formato da imagem original para 8 bits;
- fechamento das bordas dos grãos abertos com um comando do programa;
- preenchimento dos grãos a serem medidos com uma cor;
- pintura do fundo de outra cor;
- obtenção de um desenho bicolor que serve de base para que o programa obtenha, automaticamente, valores de área, perímetro e maior dimensão dos grãos;
- aplicando-se as Equações 2, 3 e 5, podem ser calculados os parâmetros de forma.

$$E = \frac{d_c}{D_c} = \frac{\sqrt{\frac{4A}{\pi}}}{d_{\max}} \quad (2)$$

Em que:

$E$ : esfericidade;

$D_c = d_{\max}$ : diâmetro do menor círculo circunscrito no grão, que corresponde ao diâmetro máximo ou diâmetro de Feret, medido diretamente na projeção do grão (mm);

$d_c$ : diâmetro correspondente à área da projeção do grão, calculado a partir da área do círculo ( $A_{\text{circulo}}$ ) através da Equação (3):

$$A_{\text{circulo}} = \frac{\pi \cdot (d_c)^2}{4} \quad \therefore d_c = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (3)$$

Em que:

$A$ : a área da projeção do grão (mm<sup>2</sup>), medida diretamente na imagem bidimensional da projeção do grão.

$$A_r = \frac{4A_p}{\pi \cdot (d_{\max})^2} \quad (4)$$

Em que:

$A_r$ : arredondamento;

$A_p$ : área da projeção do grão, medida diretamente na imagem do grão (mm<sup>2</sup>);

$A_c$ : área do círculo circunscrito ao grão, calculada a partir da Equação (5):

$$A_c = \frac{\pi \cdot (d_{\max})^2}{4} \quad (5)$$

Em que:

$d_{\max}$ : diâmetro máximo ou diâmetro de Feret, também medido na projeção do grão (mm<sup>2</sup>).

$$F_{\text{forma}} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (6)$$

Em que:

$A$ : área da projeção do grão, medida diretamente na imagem dos grãos (mm<sup>2</sup>);

$P$ : perímetro da projeção do grão, medido diretamente na imagem dos grãos (mm).

- Para a avaliação da influência da preparação das amostras foram realizadas capturas de imagens de três frações das areias: (2,4 - 1,2 - 0,6) mm, ambas capturadas de duas formas, aleatoriamente posicionadas e orientadas. A escolha deu-se pelo fato de ser difícil orientar as frações menores (0,3 mm, 0,15 mm e 0,075 mm);

- Para avaliação da influência do zoom foi escolhida a fração 1,2mm, pela possibilidade de ser fotografada com um número maior de aumentos sem prejuízo da sua visualização. Utilizam-se aumentos de (0,7-1,5-3,0) vezes.

- Para avaliação do número de grãos foi escolhida a fração 0,6

Figura 1 – Imagens capturadas: (a) antes do tratamento e (b) depois do tratamento pelo programa Image J



mm, que por ser a fração menor, possibilitou a captura de mais grãos por imagem e, portanto, menos imagens, o que aperfeiçoou o trabalho.

Após a análise das imagens foi realizada a análise estatística dos resultados, com o programa MiniTab. Foi realizada a análise de variância ANOVA e foi obtida a real influência dos fatores variados nos ensaios e também da sua interação sobre os parâmetros de forma apresentados nos resultados.

### 3. Apresentação e análise dos resultados experimentais

Após a aplicação do método de análise de imagem, o aspecto das observações pode ser verificado na Figura 1, tanto antes como depois do tratamento descrito no método. As imagens com essa configuração permitiram a obtenção dos resultados que foram utilizados nas análises estatísticas.

#### 3.1 Influência da preparação das amostras

A Figura 2 apresenta as imagens dos grãos da fração 0,6 mm, aleatoriamente distribuídos (a) e orientados (b). Nota-se uma pequena diferença, o que poderia ser atribuído ao fato dos grãos

orientados poderem ser colocados com a sua maior dimensão no plano.

Os resultados médios de arredondamento, esfericidade e fator de forma obtidos para os três parâmetros estudados são apresentados na Tabela 1, assim como os desvios padrão e coeficientes de variação correspondentes.

Avaliando o coeficiente de variação apresentado na Tabela 1, observa-se que o arredondamento é o parâmetro que apresentou valores mais altos. Pode-se atribuir isso ao fato do parâmetro levar em conta o quadrado do diâmetro máximo observado, onde, qualquer variação na medida gera uma diferença maior.

Na análise de variância, o fator de forma foi o único parâmetro que apresentou significativa diferença entre as amostras orientadas e aleatórias, conforme pode ser observado pelo valor obtido com o Teste F na Tabela 2.

Acredita-se que o efeito significativo da preparação das amostras possa ser atribuído ao do perímetro dos grãos, única informação que não é levada em conta nas equações que determinam arredondamento e esfericidade. Sobre isso, pode-se afirmar que a medição do perímetro é a mais sujeita à variabilidade, pois, como foi dito anteriormente, houveram distorções nas bordas que podem não ter sido eliminadas totalmente, dificultando ao programa o reconhecimento da imagem capturada pela câmera.

Figura 2 – Imagens para análise da influência da preparação das amostras: (a) 0,6 mm aleatória, antes e depois do tratamento e (b) 0,6 mm orientada, antes e depois do tratamento



**Tabela 1 - Fatores de forma calculados para avaliar a influência da preparação das amostras - 30 grãos**

Fração	Grãos	Ar	s	CV (%)	E	s	CV (%)	Ff	s	CV (%)
2,4 mm orientada	30	0,67	0,09	14	0,82	0,06	7	0,61	0,07	11
2,4 mm aleatória	30	0,63	0,10	15	0,79	0,06	8	0,63	0,05	7
1,2 mm orientada	30	0,66	0,11	16	0,81	0,07	8	0,65	0,08	8
1,2 mm aleatória	30	0,62	0,10	16	0,79	0,06	8	0,64	0,06	9
0,6 mm orientada	30	0,66	0,09	14	0,81	0,06	7	0,65	0,06	9
0,6 mm aleatória	30	0,66	0,08	12	0,81	0,05	6	0,67	0,04	6

Ar: arredondamento (adimensional); E: esfericidade (adimensional), Ff: fator de forma (adimensional); s: desvio padrão (adimensional); CV: coeficiente de variação (adimensional).

**Tabela 2 - Análise de variância para o Fator de Forma - influência da preparação das amostras**

Tratamentos	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P	Nível de significância
Orientação	2	0,101058	0,050529	9,54	0,000	S
Erro	51	0,270159	0,005297	-	-	-
Total	53	0,371216	-	-	-	-

Fator F ou Teste F = média quadrada do tratamento/média quadrada do erro; P: Probabilidade ou Valor-p: da distribuição t de Student.

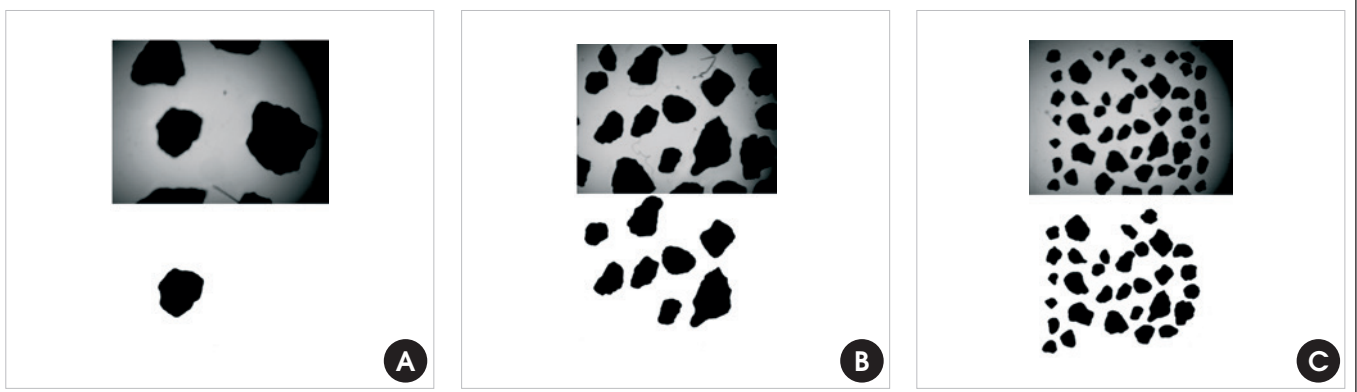
### 3.2 Influência dos aumentos utilizados

Para avaliar a influência dos aumentos (zoom) utilizados para adquirir as imagens dos grãos foi escolhida a fração 1,2 mm, pois foi a que apresentou melhor enquadramento nos aumentos escolhidos. Os aumentos adotados foram de (0,7-1,5-3,0) vezes. A Figura 3 apresenta as imagens dos grãos da fração escolhida capturadas com os diferentes aumentos. Os resultados médios obtidos para os três fatores de forma calculados são apresentados na Tabela 3.

Partiu-se da ideia de trabalhar com um número mínimo de 30 grãos, mas como alguns grãos não foram reconhecidos pelo programa no momento do tratamento da imagem, o número de grãos que puderam ser utilizados no momento da análise estatística ficou limitado em 18 grãos. O coeficiente de variação teve valores superiores aos observados na análise da preparação, mas valores próximos dos observados na análise do número de grãos, sendo o arredondamento o valor que mais teve diferenças.

Observando-se a Tabela 4, percebe-se que, novamente, apenas

**Figura 3 - Efeito do zoom utilizado para aquisição das imagens dos grãos: (a) 3,0X, antes e depois do tratamento, (b) 1,5X, antes e depois do tratamento e (c) 0,7X, antes e depois do tratamento**



**Tabela 3 – Parâmetros de forma calculados para avaliar a influência dos diferentes aumentos - 18 grãos**

Aumento	Grãos	Ar	s	CV (%)	E	s	CV (%)	Ff	s	CV (%)
0,7x	18	0,67	0,13	20%	0,82	0,09	11%	0,68	0,07	11%
1,5x	18	0,60	0,11	18%	0,77	0,07	9%	0,63	0,07	11%
3,0x	18	0,65	0,14	21%	0,80	0,09	11%	0,57	0,08	13%

Ar: arredondamento; E: esfericidade; Ff: fator de forma; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

**Tabela 4 – Análise de variância para o Fator de Forma**

Tratamentos	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P	Nível de significância
Fração	2	0,101058	0,050529	9,54	0,000	S
Erro	51	0,270159	0,005297	-	-	-
Total	53	0,371216	-	-	-	-

Fator F ou Teste F = média quadrada do tratamento/média quadrada do erro; P: Probabilidade ou Valor-p: da distribuição t de Student.

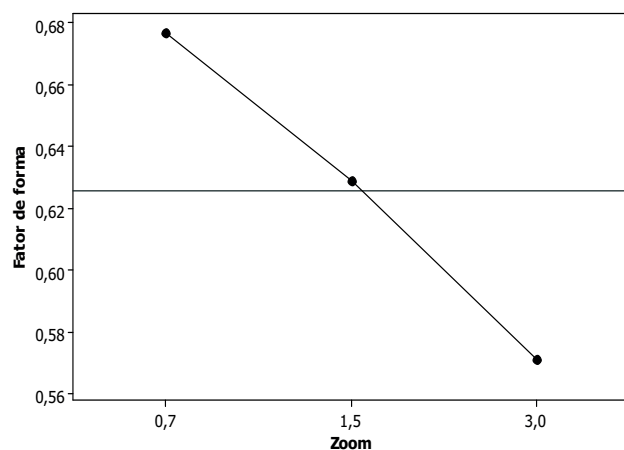
para o fator de forma houve efeito significativo do zoom, cujo comportamento é decrescente quanto maior o aumento do zoom, conforme apresentado na Figura 4.

Isso pode ser explicado pelo aumento do nível de detalhes do contorno do grão para os maiores aumentos, aumentando o valor do perímetro e, dessa forma, reduzindo o valor do fator de forma. Isso não ocorre para a esfericidade e para o arredondamento.

### 3.3 Influência do número de grãos

Utilizando-se a Equação 1, sugerida por Bussab e Morettin [5], com um nível de confiança padrão de 95%, assim como um desvio padrão da ordem de 0,1 e uma precisão de 0,01, foi obtido o número representativo de 386 grãos. Da mesma forma esse número aproximou-se dos 400 grãos usados por Persson [6], Araújo [7] e Tristão [8] em seus experimentos para análise de forma.

Nota-se que o cálculo resultou em um número relativamente alto, o que na prática demanda muito tempo para a aquisição das imagens. Considerando-se um erro relativo de 0,02, ainda assim se teria um valor próximo de 90 grãos, o que pretende-se diminuir com esse estudo. Optou-se, então, por trabalhar com um número reduzido de trinta grãos para viabilizar as análises. Para avaliar essa viabilidade, o que facilita as análises, reduzindo o tempo de-

**Figura 4 – Efeitos do zoom sobre o fator de forma****Tabela 5 – Fatores de forma calculados para amostras com diferentes números de grãos**

Grãos	Ar	s	CV (%)	E	s	CV (%)	Ff	s	CV (%)
30	0,65	0,11	18%	0,80	0,07	9%	0,62	0,08	12%
60	0,63	0,11	17%	0,79	0,07	9%	0,60	0,07	12%
90	0,66	0,09	14%	0,81	0,06	10%	0,62	0,06	10%

Ar: arredondamento; E: esfericidade; Ff: fator de forma; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

mandado, foi elaborado um experimento que avaliou a influência do número de grãos analisados nos parâmetros de forma calculados. Para avaliar a influência do número de grãos utilizados foi escolhida a fração 1,2 mm, pois foi a que apresentou melhor enquadramento nos aumentos escolhidos. Os resultados médios obtidos para os três fatores de forma calculados são apresentados na Tabela 5.

Novamente, o desvio padrão e o coeficiente de variação são maiores para o arredondamento, e da mesma ordem para a esfericidade e o fator de forma.

A análise de variância demonstrou que o número de grãos adotado não tem efeito significativo sobre nenhum dos parâmetros de forma, o que talvez possa ser atribuído à tendência de normalidade da distribuição da população. A amostragem pareceu representar bem a população, para a qual o quarte citadosamento do material demonstra ter ajudado para que dificilmente se gerasse uma amostra não significativa.

#### 4. Conclusões

Pode-se afirmar que a análise de forma de agregados miúdos requer padronizações para que seus resultados não sejam influenciados pelo método de obtenção das imagens, principalmente quanto aos aumentos adotados para aquisição das mesmas.

Na preparação das amostras e na escolha dos aumentos pode-se observar que o fator de forma foi o único parâmetro afetado, e que o perímetro parece influenciar esse resultado atípico. Dependendo do número de pixels que a borda do grão apresenta, acredita-se que o programa lê valores pouco precisos ou mesmo errados, independente do número de grãos.

Em relação ao tamanho da amostra, pode-se perceber que o número próximo de 400 grãos citados pelos autores estudados pode ser diminuído, pois os fatores de forma correspondentes a 30, 60 e 90 não apresentaram diferença significativa nos seus valores.

Dentre os parâmetros medidos, o que mais apresentou problemas relacionados ao método de análise de imagens foi o fator de forma - variando-se a preparação da amostra e a ampliação da imagem foram obtidos valores que não representam fielmente a verdadeira característica dos grãos de areia que se deseja medir. Em se tratando de indicar um parâmetro que seja melhor para as análises, podem-se indicar o arredondamento e a esfericidade, não são afetados pelo método utilizado.

Sugere-se ampliar os experimentos para outras frações de areia e analisar a totalidade dos resultados, obtendo-se a interação entre todos os fatores intervenientes na análise.

Existe ainda a necessidade de experimentos aplicados que indiquem qual grandeza de variação dos parâmetros de forma seja das propriedades de areias, de argamassas e de concretos.

#### 5. Referências bibliográficas

- [1] CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. Boletim Técnico 68 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995.
- [2] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.
- [3] CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia de britagem. In: SUFFIB - SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DE

- [4] BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. Anais... São Paulo: [s.n.], 2005.
- [5] SILVA, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- [6] BUSSAB, W.; MORETTIN, P.A. Estatística Básica. Editora Atual. São Paulo, 1993.
- [7] PERSSON, Anna-Lena. Image analysis of shape and size of fine aggregates. Engineering Geology, Elsevier Science Ltd, v.50, 1998.
- [8] ARAÚJO, G. S. Estudo dos parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.
- [9] TRISTÃO, F. A. Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.