

# Análise Granulométrica de Fertilizantes por Processamento Digital de Imagens

Julio C. O. Mendonça, Marcos M. P. Moreira, Emanuel da S. D. Estrada,  
Ricardo N. Rodrigues e Sílvia S. da C. Botelho  
Centro de Ciências Computacionais  
Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, RS, Brasil  
Email: juliocezar@furg.br, markos.moreira@furg.br

**Abstract**—The present work proposes to use digital image processing to perform the study of fertilizers granulometry, using preprocessing, segmentation, morphological operators and watershed techniques. As a main result, we expect to reduce the time of analysis by improving the decisions that need to be made during the production process.

**Resumo**—O presente trabalho propõe usar processamento digital de imagens para realizar o estudo da granulometria de fertilizantes usando técnicas de pré-processamento, segmentação, operadores morfológicos e *watershed*. Como resultado principal, espera-se reduzir o tempo de análise, melhorando as decisões que precisam ser tomadas durante o processo de produção.

## I. INTRODUÇÃO

O Brasil em 2017 teve o agronegócio como o setor que mais movimentou o seu PIB (Produto Interno Bruto), com crescimento acumulado em 13% de acordo com o IBGE [1]. Um recurso primordial para o aumento da atividade da agricultura no setor primário é a utilização de fertilizantes, o que colabora para correção dos nutrientes dos solos. Erisman et al. [2], preveem que até o final do século, 40% da população mundial dependerá do uso de solos fertilizados. Dessa forma é preciso que a qualidade e a produtividade dos fertilizantes seja melhorada. Para tal, diversas análises podem ser feitas, sendo uma das principais, a análise granulométrica [3].

A granulometria é a propriedade que define o percentual de massa das partículas, classificando estas em diferentes intervalos de tamanhos. A necessidade de se realizar esta análise se deve ao fato de que as partículas distribuídas em diferentes tamanhos podem apresentar o fenômeno conhecido como segregação. Este efeito é referente a desuniformidade dos tamanhos das partículas, separando a mistura do fertilizante em diferentes nutrientes [4]. Segundo Feltran et al. [5], esta propriedade dificulta a aplicação do fertilizante no solo, prejudicando a absorção dos nutrientes e consequentemente a qualidade do produto.

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) [6], define através da instrução normativa N<sup>o</sup> 46, o peneiramento como método convencional de análise granulométrica para controle de qualidade de fertilizantes. Este método consiste em colocar a amostra previamente pesada em um conjunto de peneiras empilhadas em ordem crescente, de acordo com o tamanho da abertura da malha. Com isso as peneiras são colocadas em um agitador mecânico que apresenta a quantidade de fertilizante retida em cada peneira. Em seguida,

as amostras são pesadas para que sejam feitos os cálculos de percentual de massa. Entretanto, a análise granulométrica feita por peneiramento apresenta como desvantagem o tempo de execução das análises, conforme o próprio MAPA [7]. Em contrapartida, a literatura tem demonstrado que a análise de processamento de imagens digitais reduz o tempo para poucos minutos como demonstrado por Al-Thyabat et al. [8].

Diversos autores tem usado o processamento digital de imagens como alternativa ao peneiramento. No trabalho de Peres et al. [9], o processamento digital foi usado para analisar agregados graúdos, comparando com os resultados obtidos no peneiramento. O autor propôs nesse trabalho um método com um fator de correção para a correspondência entre os resultados obtidos com o método clássico. A publicação de Martins et al. [10] traz detalhamentos de aquisição de imagens das amostras de solos, de maneira a controlar o posicionamento da câmera através de parâmetros, como a relação da distância do sensor e distância focal, assim como a resolução diagonal, para o cálculo de dimensionamento da menor partícula a ser analisada. Como as partículas analisadas são irregulares, é proposto a utilização de representações geométricas equivalentes, baseando-se em características do objeto.

No trabalho de Vega et al. [11] o processamento de imagem é usado para demonstrar que é possível mensurar partículas muito pequenas. Um microscópio é usado para observar as amostras, os dados gerados produzem a granulometria das micropartículas observadas em tempo real, na escala de micrômetros.

Araújo et al. [12] propuseram a análise de imagens visando obter a mensuração necessária para calcular a forma e textura dos grãos de areia de dois locais diferentes. Seguindo no mesmo viés, em Guilherme et al. [13] é realizada a análise granulométrica de sedimentos de praias arenosas, comparando com as análises realizadas por peneiramento.

Seguindo na linha dos autores que propõem o processamento de imagens para realizar a granulometria, este trabalho visa aplicar esse procedimento durante o processo de produção de fertilizantes, obtendo imagens com uma câmera de alta resolução posicionada dentro do ambiente de produção. Após obter as imagens será realizado o processamento das mesmas para que seja possível realizar a análise granulométrica. Desse modo, agilizando as decisões que devem ser adotadas pelos

agentes do meio fabril.

## II. METODOLOGIA

O estudo de processamento de imagens foi realizado com o auxílio do software de domínio público chamado ImageJ [14], que é uma ferramenta com diversas funções para edição, processamento e análise de imagens. O software funciona através de uma aplicação Java, e permite a criação de scripts e plugins em diversas linguagens conhecidas, como Python e JavaScript, para estender seu funcionamento. É possível também gravar operações realizadas, criando macros para utilização posterior. Em um trabalho relacionado com o uso desse software para analisar partículas em escala nanométrica, Albuquerque et al. [15] mencionam os conceitos de processamento de imagens, explicando quais métodos utilizar para análise granulométrica em um minério específico, e por fim, aplicando o software para realizar a análise e resolver o problema proposto.

A seguir é apresentada a metodologia para realizar este estudo, como pode ser observado na Figura 1, o primeiro passo é a aquisição de imagem, onde é demonstrado o método e as técnicas utilizadas para aprimorar o ambiente de aquisição. Seguindo para a etapa de processamento, que divide-se em: *A*. Pré-processamento, que realiza os ajustes iniciais da imagem; *B*. Segmentação, etapa composta por algoritmos que separam a imagem em diferentes regiões; *C*. Eliminação de ruídos, que visa remover os fragmentos que não fazem parte da análise; *D*. Watershed, aplicado para facilitar a identificação dos objetos agrupados. Por fim, são apresentados resultados preliminares obtidos através da análise das imagens processadas.

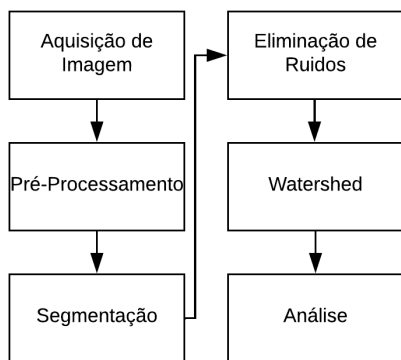


Figura 1. Diagrama da metodologia.

## III. AQUISIÇÃO

A aquisição das imagens foi feita em um ambiente controlado de laboratório, contendo uma câmera, lentes de foco fixo e fonte de iluminação, todos dispostos em uma estrutura que mantém a câmera e o foco verticalmente, como demonstrado na Figura 2. A câmera possui um software que quando conectada ao computador, possibilita realizar ajustes nas imagens antes do armazenamento.

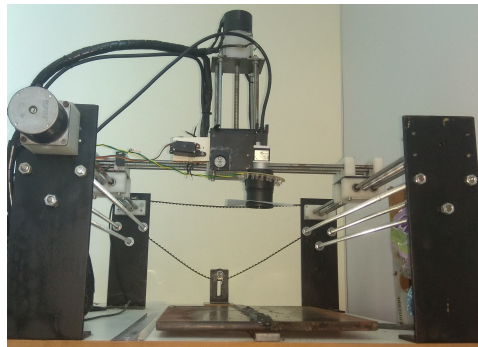


Figura 2. Materiais para aquisição de imagem.

Para aprimorar o ambiente onde as partículas de fertilizantes foram dispostas, foi utilizada a teoria do contraste das cores complementares, aquelas que estão em oposição de 180 graus no círculo cromático [16]. A mistura dessas cores ajuda a identificar os grânulos, já que os mesmos possuem a mesma coloração e são dispostos sobre um plano com a sua cor complementar. Como o grão apresenta uma coloração rosa pálido, foi usado um fundo com coloração azul safira.

Foram testadas várias disposições de grânulos, com o objetivo de avaliar os algoritmos de processamento em cenários diferentes. Primeiramente, os grânulos foram separados cuidadosamente para que suas bordas não encostassem no grânulo vizinho, em um segundo cenário alguns grânulos ficaram agrupados e outros separados, por fim, em um terceiro cenário, considerado como crítico, os grânulos ocupavam toda a imagem. Esses cenários ajudaram no estudo de técnicas específicas, tais como o *watershed*. A Figura 3 demonstra o segundo cenário, que é considerado ideal para o estudo.

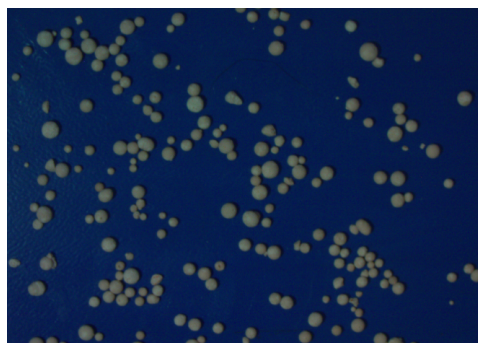


Figura 3. Imagem adquirida em local controlado.

## IV. PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Nesta seção, serão descritas as técnicas aplicadas no processamento das imagens capturadas, apresentando assim, metodologias que auxiliaram na análise e obtenção de resultados.

### A. Pré-Processamento

Nesta etapa foram realizados ajustes no brilho, contraste e realce da imagem, visando melhorar a extração de informações sobre cada grânulo presente.

## B. Segmentação

A segmentação é realizada aplicando o algoritmo de limiarização, que consiste em separar a imagem de acordo com um valor indicado como limiar, em duas regiões: em preto nas partes que o valor for maior que o limiar, e outra região em branco onde o valor é menor ou igual ao limiar. Esta operação é frequentemente chamada de binarização, funcionando bem para imagens que apresentam um perfil aproximadamente bimodal, pois isto representa o fato de que os valores de intensidade da imagem estão estatisticamente separados em, pelo menos duas classes distintas [17]. O resultado da limiarização pode ser visto na Figura 4.

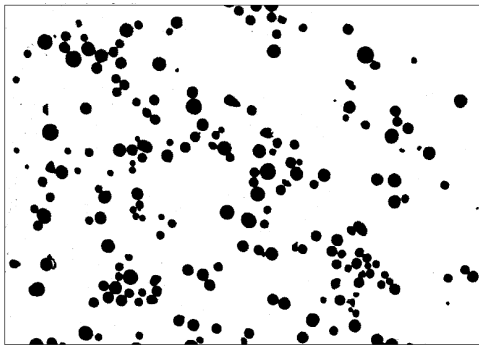


Figura 4. Limiarização.

## C. Eliminação dos ruídos.

Tratando-se de grãos de fertilizante, é natural que exista poeira originária dos mesmos, causando ruídos na imagem capturada. Então para resolver esse problema foi feito o uso de operadores morfológicos.

Primeiramente foi aplicado o operador de erosão com um elemento estruturante quadrado. Em seguida, através de uma análise qualitativa inicial, foi possível perceber que o método foi capaz de eliminar a grande maioria dos ruídos pretos entre os grânulos da imagem.

No entanto, como o formato do grânulo é uma característica de grande interesse para indústria de fertilizantes, foi preciso realizar uma nova operação, utilizando o operador de dilatação para que os ruídos brancos provenientes do operador de erosão aplicado anteriormente sejam também eliminados. Realizar essas duas operações nesta sequência, é denominado de abertura binária [18], sendo responsável por eliminar partículas ruidosas que não são do interesse do usuário, impedindo que os objetos de interesse aumentem de tamanho.

A Figura 5 demonstra a eliminação dos ruídos presentes anteriormente na imagem da Figura 4.

## D. Watershed

Após a eliminação dos ruídos, foi utilizada a técnica de *watershed* para identificar os grânulos aglomerados. Sendo uma técnica de segmentação de imagens, ela faz parte do campo da morfologia matemática, juntamente com a erosão e a dilatação. Popularmente conhecida como método das "Linhas Divisoras

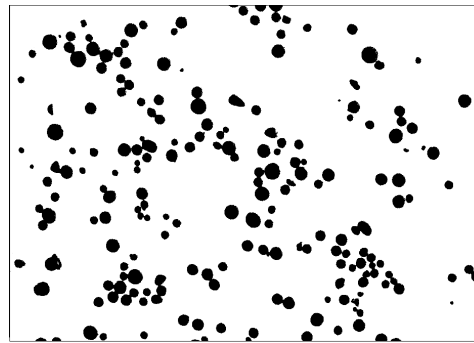


Figura 5. Eliminação de ruídos da imagem através da abertura binária.

de Água" [19], tal técnica considera a existência de mínimos regionais de uma imagem, por onde seria possível escorrer uma "gota d'água", formando a separação das partículas.

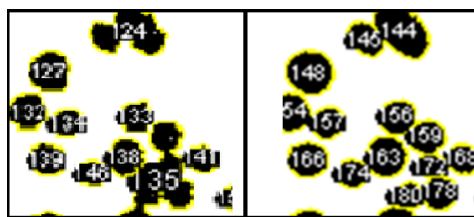


Figura 6. Exemplo de imagem sem Watershed (esquerda) e com Watershed (direita).

Na Figura 6 é possível ver a comparação na identificação de objetos de interesse, no lado esquerdo, não foi aplicado o algoritmo, não sendo possível obter uma identificação precisa da quantidade de partículas presentes na imagem, mas no lado direito com a aplicação do *watershed*, observa-se a diferenciação entre partículas que estão agrupadas.

## V. RESULTADOS PRELIMINARES

Após as etapas demonstradas, foram aplicados novamente os operadores morfológicos adequados para a identificação de bordas de um pixel de espessura, assim como demonstra a Figura 7, onde foram identificadas 213 partículas.

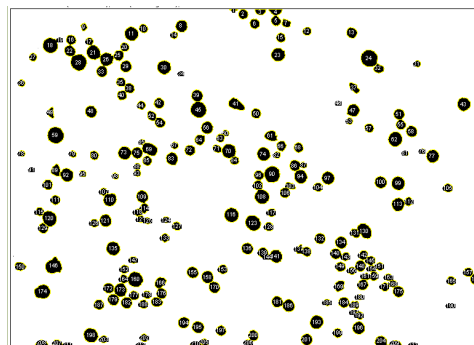


Figura 7. Contagem de partículas.

Para realizar a análise de parâmetros dos objetos de interesse, foi preciso criar uma escala que se adequasse a imagem.

Foi necessário usar uma nova imagem que possua a mesma disposição de grânulos, mas contendo uma régua ao fundo. Através de ferramentas do software, criou-se uma reta onde a distância entre os pontos de sua extremidade (em pixels) representa a unidade de medida desejada. Dessa forma, os resultados obtidos estarão na escala criada. Por conveniência, os valores estão descritos em milímetros.

Como resultados preliminares foi possível analisar algumas características de cada grão, como a área superficial, perímetro e descritores do formato, sendo este último definido em termos de rotundidade (Rot.), que define o quão redondo a partícula é mensurada no intervalo de 0,0 a 1,0, e também circularidade (Circ.), que define no mesmo intervalo acima, a quantificação da representação de quanto circular é essa partícula. Próximos estudos revisarão a adição de novas características que sejam condizentes com o estudo da granulometria. Os resultados apresentados mostram os dados obtidos no segundo cenário de estudo, excluindo as partículas diminutas dos cálculos. Os valores obtidos nessa amostra são: o valor mínimo, médio, máximo e desvio padrão (SD) de cada característica. Esses resultados podem ser observados a seguir na Tabela 1.

Tabela I  
RESULTADOS OBTIDOS.

Cenário 2:	Área (mm <sup>2</sup> )	Perímetro (mm)	Rot.	Circ.
Média	5,730	29,200	0,877	0,801
SD	3,580	8,900	0,143	0,083
Mínimo	0,230	7,190	0,205	0,294
Máximo	16,760	50,870	0,997	0,869

## VI. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

É possível perceber que existem possibilidades de realizar o estudo da granulometria por meio da captura de imagens de fertilizante no meio fabril. Os equipamentos encontrados no mercado possuem um preço elevado considerando a realidade nacional, o que torna as pesquisas por inovações de equipamentos de baixo custo viáveis. O próximo passo deste estudo será avaliar a construção de um protótipo *middleware* de captura, processamento e análise de imagens que funcione adequadamente na planta de produção da fábrica. O ambiente a ser instalado é altamente inóspito, fazendo-se necessário o estudo e utilização de novas técnicas que se adéquem a este panorama.

Espera-se que, com a câmera de alta resolução realizando a captura das imagens em tempo real, seja possível realizar análises granulométricas que sejam de comum entendimento ao operador interessado na obtenção dessas características, bem como a quantidade de grãos que destoam do tamanho adequado dos fertilizantes. Em trabalhos futuros, serão testadas e classificadas as análises granulométricas obtidas por processamento de imagem, buscando comparações com os resultados obtidos por peneiramento em laboratório. Após realizada a validação do método proposto através deste estudo futuro, poder-se-á começar a avaliação da proposta de controle e automação do processo, levando em conta os dados obtidos neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] IBGE, “Puxado pela agricultura, PIB cresce 1,0% em 2017 e chega a R\$ 6,6 trilhões,” Disponível: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/20168-puxado-pela-agricultura-pib-cresce-1-0-em-2017-e-chega-a-r-6-6-trilhoes.html>, 2018, acessado em: Abril/2018.
- [2] J. W. Erisman, M. A. Sutton, J. Galloway, Z. Klimont, and W. Winiwarter, “How a century of ammonia synthesis changed the world,” *Nature Geoscience*, vol. 1, no. 10, p. 636, 2008.
- [3] D. E. Bertin, I. M. Cotabarrén, V. Bucalá, and J. Piña, “Analysis of the product granulometry, temperature and mass flow of an industrial multichamber fluidized bed urea granulator,” *Powder technology*, vol. 206, no. 1-2, pp. 122–131, 2011.
- [4] A. A. Rodella, J. C. Alcarde, and A. P. Dias, “Requisitos de qualidade física e química de fertilizantes minerais,” *GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF*, pp. 59–78, 2000.
- [5] J. C. Feltran, J. C. Corrêa, S. R. Brancalhão, and R. L. V. Boas, “Segregação física e química de fertilizantes formulados,” *Cientifica*, vol. 34, no. 2, pp. 188–196, 2008.
- [6] Mapa, “Instrução normativa nº 46, de 22 de novembro de 2016,” Disponível: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-46-de-22-11-2016-fert-minerais-dou-7-12-16.pdf>, 2016, acessado em Abril/2018.
- [7] —, “Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos,” 2014, disponível: [http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual-\\_in-5\\_-analiticos-oficiais-para-fertilizantes-e-corretivos\\_com\\_capa\\_final\\_03.pdf/view](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual-_in-5_-analiticos-oficiais-para-fertilizantes-e-corretivos_com_capa_final_03.pdf/view) Acessado em: Abril/2018.
- [8] S. Al-Thyabat, N. Miles, and T. Koh, “Estimation of the size distribution of particles moving on a conveyor belt,” *Minerals Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 72–83, 2007.
- [9] L. M. Peres, F. de Souza Barbosa, P. K. X. Bastos, and F. M. de Almeida Nogueira, “Determinação da curva granulométrica de agregados graúdos via processamento digital de imagens,” *CEP*, vol. 36307, p. 352, 2010.
- [10] I. C. Martins, A. C. Frery, and V. C. L. Ramos, “Ensaio granulométrico de solos através do processamento e análise de imagens digitais,” *VI Workshop de Visão Computacional*, 2010.
- [11] F. Vega, W. Lasso, and C. Torres, “Image processing applied to measurement of particle size,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 582, no. 1, p. 012061, 2015. [Online]. Available: <http://stacks.iop.org/1742-6596/582/i=1/a=012061>
- [12] G. S. Araújo, K. A. V. Bicalho, and F. A. Tristão, “Análise de Imagens na determinação da forma e textura de areias,” *Revista Brasileira de Ciêdo Solo*, vol. 39, pp. 94 – 99, 02 2015. [Online]. Available: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832015000100094&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000100094&nrm=iso)
- [13] P. D. B. Guilherme, C. A. Borzone, M. de Lima Bueno, and M. R. Lamour, “Análise granulométrica de sedimentos arenosos de praias através de imagens digitais. descrição de um protocolo de mensuração de partículas no software imagej-fiji,” *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 23–32, 2016.
- [14] T. Ferreira and W. Rasband, “Imagej user guide,” *ImageJ/Fiji*, vol. 1, 2012.
- [15] A. Hannickel, M. Silva, H. Barros, and M. Albuquerque, “Image j como ferramenta para medida da área de partículas de magnetita em três escalas nanométricas,” *CIT*, vol. 4, pp. 16–26, 2002.
- [16] E. Lotufo, “Cor e comunicação,” *Universidade católica de Goiás, Departamento de Artes e Arqutectura, curso de design, Goiânia*, vol. 10, 2008.
- [17] M. P. de Albuquerque and M. P. de Albuquerque, “Processamento de imagens: métodos e análises,” *Rio de Janeiro, Brasil*, vol. 12, 2000.
- [18] J. Facon, “A morfologia matemática e suas aplicações em processamento de imagens,” in *VII Workshop de Visão Computacional–WVC*, vol. 13, 2011.
- [19] J. M. Rondina, F. Cendes, and R. Lotufo, “Desenvolvimento de um sistema semi-automático para a segmentação de estruturas cerebrais em imagens de ressonância magnética,” in *Anais CBIS–VIII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*, 2002.