

CARACTERIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE MINÉRIO DE FERRO

Aluna: Debora Turon Wagner
Orientador: Sidnei Paciornik

Introdução

O consumo específico do aço vem crescendo ao longo dos últimos 100 anos, com parcela cada vez maior de aço bruto produzido derivado de produtos da indústria de mineração do ferro. As crescentes exigências de qualidade no mercado de minério de ferro, as mudanças nas características das reservas atualmente disponíveis, o desenvolvimento tecnológico do setor siderúrgico e a diversidade de produtos finais colocados à disposição dos mercados consumidores, tornaram as especificações dos insumos para os processos produtivos muito mais rígidos.

A qualidade do *pellet* e *sinter feed* é dependente dos processos de beneficiamento industrial de minério de ferro. Como as diferentes morfologias dos constituintes do minério de ferro impactam diretamente na físico-química dos aglomerados, há a necessidade de caracterizar os insumos da siderurgia com o objetivo de prever comportamento de cada tipo de minério, otimizando, portanto, o processo de produção do aço [1].

O minério de ferro brasileiro é essencialmente hematítico, geralmente contendo outros minerais como magnetita, goethita e minerais de ganga, principalmente quartzo. A hematita presente no minério de ferro apresenta diferentes morfologias em seus grãos, podendo ser classificada como lobular, lamelar, granular ou microcristalina. No entanto, não existe um método universal para caracterização automática da morfologia dos grãos de hematita.

Utilizando-se o Microscópio de Luz Refletida é possível identificar, dentre outros minerais, a hematita, uma vez que os diferentes constituintes do minério de ferro apresentam refletâncias distintas. A hematita é um mineral anisotrópico e, se aplicada a luz refletida, apresenta a propriedade de birrefletância [2]. Desta forma, o brilho da imagem muda de acordo com as diferentes orientações dos cristais em relação ao plano de incidência da luz. Essa variação de brilho é sutil, mas é perceptível ao olho humano treinado no microscópio de luz refletida (MLR). Se aplicada a luz polarizada, é possível obter maior contraste entre os grãos de hematita, sendo, portanto, mais fácil de identificá-los [3].

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para identificação dos grãos de hematita, para que em um trabalho futuro seja realizada a diferenciação dos tipos de hematita de acordo com a morfologia dos grãos.

Objetivos

Identificar e quantificar grãos de hematita presentes no minério de ferro automaticamente através do MRL, com o auxílio da luz polarizada.

Metodologia

Foi utilizado um microscópio motorizado Zeiss Axioplan 2 com câmera digital AxioCam HR (1300 x 1030 pixels), estágio motorizado, sistema de polarização e o programa AxioVision (V4.7, Carl Zeiss Vision) para controlar o microscópio e adquirir as imagens.

Para aquisição das imagens foi preciso assegurar as condições de captura e executar rotinas padrão. Primeiramente, a voltagem da lâmpada foi fixada em 10 volts. Em seguida, utilizou-se um padrão de reflexão para correção da iluminação e de possíveis sujeiras na lente ou caminho ótico do microscópio. Foi realizado um ajuste de branco – White balance – em uma imagem representativa, para que as cores presentes na amostra visualizada pelo computador se aproximassem às observadas através da lente do microscópio. Para aquisição das imagens, as lentes objetivas (LO) de 20X foram utilizadas.

Foram capturadas imagens de um mesmo campo, sendo duas polarizadas, com simetria angular em relação ao eixo (7.5° e -7.5°), e uma sem polarização, que podem ser visualizadas na Figura 1.

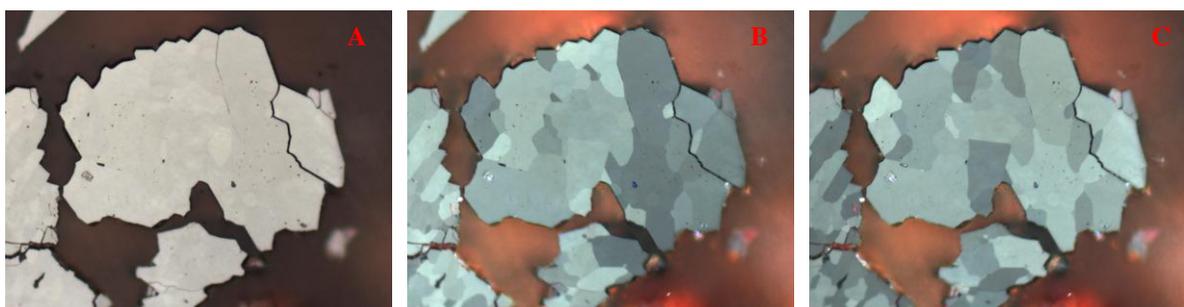


Figura 1 – Imagens da Hematita: (a) Sem polarização, (b) Com polarização a -7.5° , e (c) Com polarização a 7.5°

O processamento e a análise das imagens foram realizados no programa KS400 (V 3.1, Carl Zeiss Vision). As rotinas foram desenvolvidas em um ambiente de linguagem interna, através de uma macro, com o objetivo de identificar a hematita presente na imagem sem polarização e quantificar grãos revelados pelas imagens polarizadas.

Resultados e Discussão

Após a aquisição das imagens, estas são abertas no programa KS400, com o objetivo de processá-las. Apesar de as três imagens – uma sem polarização e duas com polarização – serem capturadas a partir de um mesmo campo, estas apresentam pequenos deslocamentos entre si. Esse desalinhamento pode ser corrigido através de uma rotina de correlação, desenvolvida no presente trabalho. A diferença espacial calculada entre as imagens pode ser de pixels fracionados. No entanto, a correção pode ser aplicada apenas para pixels inteiros. Desta forma, apesar de apresentar resultados satisfatórios, o alinhamento executado pode não ser perfeito.

As imagens corrigidas foram convertidas para tons de cinza, e em seguida o realce de bordas foi aplicado visando a tornar a transição de cores mais abrupta, como pode ser visualizado na Figura 2.

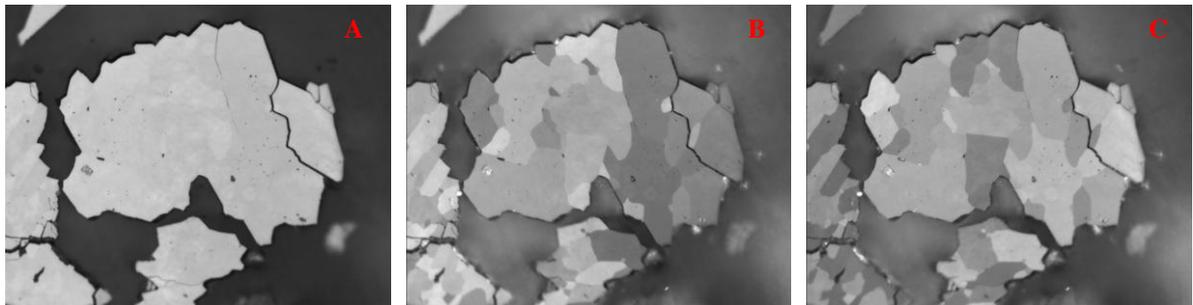


Figura 2 – Imagens da Hematita em tons de cinza com bordas realçadas: (a) Sem polarização, (b) Com polarização a -7.5° , e (c) Com polarização a 7.5°

A imagem sem polarização foi segmentada para que a máscara de hematita fosse identificada, gerando uma imagem binária. Utilizou-se um comando para eliminar os objetos que tocam as extremidades da imagem, com o objetivo de analisar apenas a hematita que se encontra localizada no centro da imagem. Já nas imagens com polarização, um filtro de detecção de bordas – Canny – foi aplicado para identificar os contornos dos grãos existentes na imagem. Estas imagens podem ser visualizadas na Figura 3.

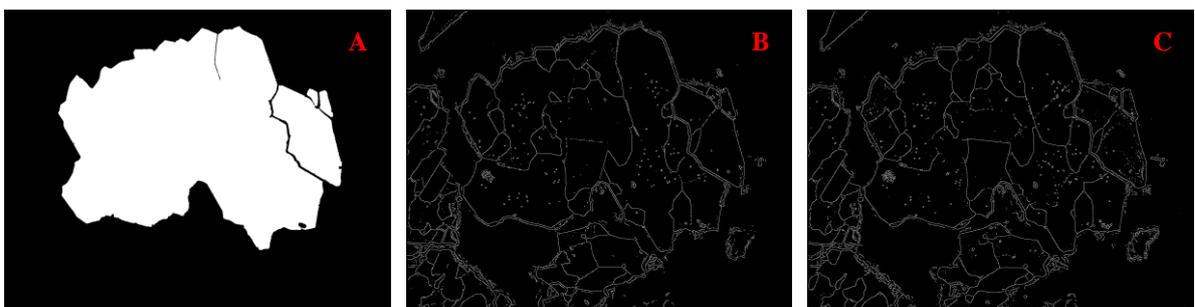


Figura 3 – Sem polarização: (a) Máscara de hematita central; Com polarização: (b) Detecção das fronteiras dos grãos a -7.5° , e (c) Detecção das fronteiras dos grãos a 7.5°

Os resultados da detecção dos contornos de grão foram unidos para garantir uma maior confiabilidade nos resultados, uma vez que fronteiras identificadas com um ângulo de polarização podem não ser visíveis em um ângulo diferente, mesmo que estes sejam simétricos em relação ao eixo. Foi realizada a interseção da imagem resultante da detecção dos contornos e da máscara de hematita, gerando uma imagem da hematita com os contornos de grãos (Figura 4).

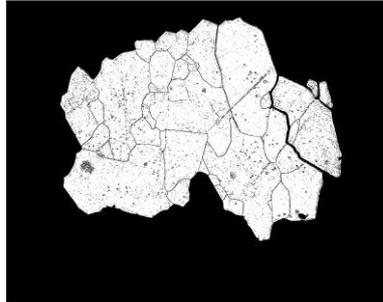


Figura 4 – Máscara de Hematita com os contornos de grão

Nota-se grande quantidade de objetos espúrios na imagem. Estes foram retirados através de uma condição de eliminação, que visa excluir apenas os objetos muito pequenos. Esta é uma etapa crítica do processo, uma vez que alguns objetos espúrios ainda podem ser visualizados na imagem. Se a condição de eliminação é aumentada, há a perda considerável de bordas, pois o método de detecção de bordas Canny não garante contornos fechados e totalmente interligados. Apesar dos objetos espúrios acarretarem a superfragmentação dos grãos, que será realizado na próxima etapa, é muito importante garantir a permanência da maior quantidade possível de contornos identificados pelo método de Canny, para que estes guiem a separação dos grãos. A Figura 5 a seguir apresenta a imagem resultante da eliminação dos objetos pequenos, ainda que existam objetos espúrios.



Figura 5 – Contornos de grão de Hematita após a eliminação dos objetos pequenos

Como citado anteriormente, o filtro Canny não garante que os contornos são fechados e totalmente interligados, portanto, é preciso realizar a separação dos grãos. O comando

watersheds – divisor de águas – utilizado na rotina desenvolvida oferece a possibilidade de variação de três parâmetros – filtro sigma, *threshold* e *smooth* – para que os resultados sejam otimizados de acordo com o tipo de imagem a ser analisada. Desta forma, foi realizado um estudo de variação de parâmetros de forma que para cada valor de *smooth*, seis no total, foram escolhidos dois valores de sigma e de *threshold*. Os melhores resultados estão apresentados na Figura 6.

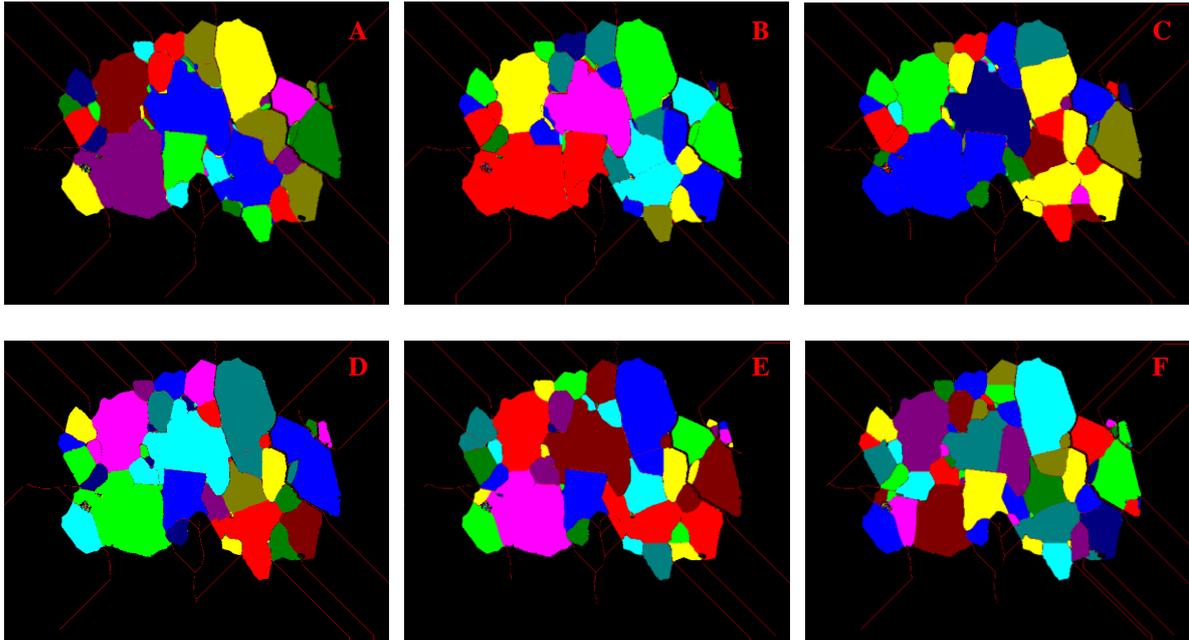


Figura 6 – Identificação dos grãos de Hematita: (a) Smooth 15 – Sigma 0.70 , Threshold 4; (b) Smooth 13 – Sigma 0.70 , Threshold 4 ; (c) Smooth 11 – Sigma 0.70 , Threshold 4; (d) Smooth 9 – Sigma 0.70 , Threshold 4; (e) Smooth 7 – Sigma 0.70 , Threshold 4; (f) Smooth 5 – Sigma 1.13 , Threshold 2

A contagem de grãos das imagens acima está representada na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Contagem de grãos de hematita para as imagens da Figura 6

| | Contagem de grãos |
|-----------|-------------------|
| Smooth 15 | 444 |
| Smooth 13 | 452 |
| Smooth 11 | 437 |
| Smooth 09 | 389 |
| Smooth 07 | 370 |
| Smooth 05 | 329 |

Nota-se que quanto menor o *smooth* utilizado, menor é a quantidade de grãos contabilizados durante do processamento. No entanto, pode-se visualizar que na Figura 6(f) os grãos se encontram superfragmentados devido à grande sensibilidade do divisor de águas. Desta forma, os grãos obtidos não se assemelham à morfologia original. Visualmente, as imagens com maior *smooth* parecem ser mais coerentes quanto à forma dos grãos, mas

apresentam a contagem de grão muito elevada. Isto se deve à separação demasiadamente orgânica provocada por altos *smooths*, que não acompanha os contornos reais dos grãos, gerando fronteiras duplas e acarretando na contagem excessiva de grãos.

Se comparado com a contagem manual realizada e demonstrada na Figura 7 e Tabela 2, pode-se concluir que os resultados obtidos não são satisfatórios.

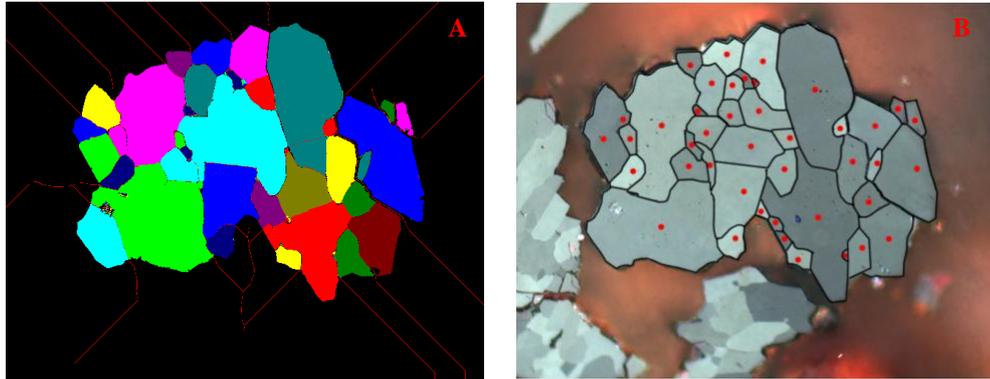


Figura 7 – Imagem do cristal central de Hematita, tendo contabilizado (a) automaticamente 389 grãos, e (b) manualmente 42 grãos

Tabela 2 – Contagem manual e automática de grãos

| | Contagem de grãos |
|-----------------------|-------------------|
| Manual | 42 |
| Automática – Smooth 7 | 370 |

Conclusões

Apesar de a rotina ser completa, os resultados ainda não são satisfatórios. Após a avaliação de parâmetros do filtro *canny* e divisor de águas (*Watersheds*), notou-se grandes variações na contabilização dos grãos. A sensibilidade do *Watersheds* é muito grande, fragmentando demais os grãos existentes. Se suavizada sua aplicação, a separação gerada se comporta de forma demasiadamente orgânica, não acompanhando as fronteiras reais dos grãos. Como resultado, obtêm-se fronteiras duplas, o que gera uma contagem também excessiva de grãos.

Esta etapa de identificação e contabilização dos grãos precisa ser aprimorada, para que rotinas de análise morfológica dos grãos sejam desenvolvidas com sucesso.

Referências

1 – Vieira, C. B.; Rosière, C. A.; Seshadri, V.; Assis, P. S.; Coelho, L. H.; Pena H. Q. “Geometallurgical approach for quality control of iron ores for agglomeration in iron and steel industry,” **International symposium on beneficiation agglomeration and environment – ISBAN**, Bhubaneswar, Índia, Proceedings, p. 1-7, 2000.

2 – A. J. Criddle & C. J. Stanley (eds) 1993. Quantitative Data File for Ore Minerals, 3rd ed., 635 pp., London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman & Hall.

3 – Gribble, C.; Hall, A. J. “Optical Mineralogy: Principles and practice,” **London: UCL Press**, 1992.