

# Análise de Imagem Aplicada à Mineralogia de Processo

Otávio da Fonseca Martins Gomes

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ

Arnaldo Alcover Neto

Orientador, Geoquímico, D.Sc.

Reiner Neumann

Co-orientador, Geólogo, M.Sc.

## RESUMO

Esse trabalho visou o desenvolvimento da análise de imagens, obtidas pelo detetor de elétrons retro-espalhados de um MEV Leica S440, com o software ISIS Suite 3. Através da análise automatizada off-line, obteve-se o grau de liberação no estudo de amostra de rejeito de minério de cromita.

## 1. INTRODUÇÃO

A mineralogia de processo é um ramo da caracterização tecnológica de minérios que se preocupa basicamente em avaliar a eficiência de determinada operação unitária, seja de tratamento de minérios ou de metalurgia extrativa. Essa avaliação é feita sob a óptica da mineralogia envolvida, permitindo inclusive corrigir parâmetros da operação para melhoria de seu desempenho ou sugerir alternativas mais eficientes.

Uma das principais ferramentas utilizadas na mineralogia de processo é a análise de imagens obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), acompanhada de técnicas auxiliares para correta identificação da mineralogia antes de sua quantificação, como, por exemplo, difratometria de raios X.

A análise de imagens é uma ferramenta relativamente recente que cresce acompanhando o desenvolvimento de recursos computacionais de hardware e software. Sua grande vantagem como monitor de eficiência, quando comparada ao clássico acompanhamento químico, é a possibilidade da obtenção de outros dados, decorrentes da observação direta dos produtos, que

não a simples quantificação absoluta de elemento ou fase de interesse.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de rotinas para aquisição, tratamento e quantificação de imagens e a combinação destas rotinas de modo a se obter a automação da análise. Além disso, temos como meta primária o cálculo do grau de liberação, possivelmente a mais complexa das operações de rotina em análise de imagem aplicada à tecnologia mineral.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O material escolhido para o estudo de caso provém da mina de cromita de Pedrinhas (BA), especificamente em amostra de rejeito do processo de concentração, constituída basicamente por filossilicatos do grupo da clorita, olivina, talco, quartzo e cromita. Após a devida classificação granulométrica, a fração entre 37 e 20  $\mu\text{m}$ , detentora dos maiores teores de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $\approx 35\%$  do  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  total da amostra), foi embutida em resina e a montagem obtida foi cortada, polida com abrasivos (diamante) de granulações de até 1  $\mu\text{m}$  e metalizada com carbono.

Preparada a seção polida, a etapa seguinte é a aquisição da imagem pelo detetor de elétrons retro-espalhados (BSD) do MEV. O programa automatizador (AutoStage) escraviza o MEV e capta as imagens que compõem uma área pré-determinada da seção polida. Todo o processo é automático e, após a captura, as imagens podem ser imediatamente analisadas, com o analisador (IMQuant) escravizado via IMQuant/Auto, ou armazenadas em disco para análise posterior. Neste trabalho utilizamos 265 imagens arquivadas.

O processamento da imagem geralmente inicia-se com um incremento do contraste. Se houver grãos em contato, que poderiam ser identificados como um único, aplicam-se rotinas de separação. Segue-se a operação de segmentação da imagem, ou seja, separação da imagem original em várias imagens binárias correspondentes a faixas de níveis de cinza selecionados. Essa é a operação mais importante de todo o processamento da imagem, uma vez que pela segmentação restam em cada imagem binária somente as partículas de uma fase. Cada imagem binária é então

tratada para a eliminação de ruído eletrônico e erros sistemáticos do método, principalmente bordas de grãos, que apresentam um degradê dos níveis de cinza quando parcialmente cobertos por resina, e defeitos da seção polida, entre outros. Juntamente com a segmentação, desse processamento depende a exatidão dos dados obtidos.

Por fim, as imagens binárias já tratadas são propriamente analisadas. No entanto, uma operação como descrita até aqui constitui-se apenas numa etapa inicial, já que só possibilita a quantificação de cada fase como um todo.

Para a obtenção de dados mais sofisticados, como a identificação de fases raras e o cálculo do grau de liberação, a análise tem que ser feita grão a grão, assim, os grãos precisam ser individualizados e rotulados. A individualização e rotulação dos grãos é feita através de uma varredura na imagem que vai, da esquerda para direita e de cima para baixo, reconhecendo os grãos como unidades independentes e numerando-os em seqüência.

Devido a uma limitação do analisador de imagens (IMQuant), utilizamos o artifício do "método da borda", que consiste em marcar os grãos com uma borda de área desprezível, para que fases distintas, e portanto registradas em imagens binárias distintas, constituintes de um mesmo grão sejam analisadas como parte do grão. Assim, os grãos foram individualizados e rotulados e a análise foi realizada – somente nos grãos contendo cromita, para efeito do cálculo do grau de liberação, como podemos observar na Figura 1.

Como resultado desta análise, obtivemos arquivos tipo texto, que, após conversão, foram trabalhados na planilha eletrônica Microsoft Excel, para gerar os resultados de grau de liberação apresentados na seção seguinte.

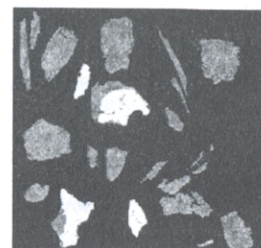
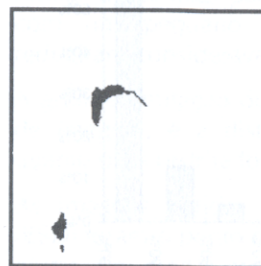


Imagem obtida pelo detector de elétrons retro-espalhados (BSD), ponto de partida para a análise.

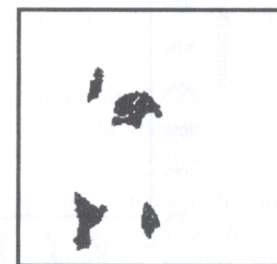
Fase cinza – Ganga

Fase branca – Cromita

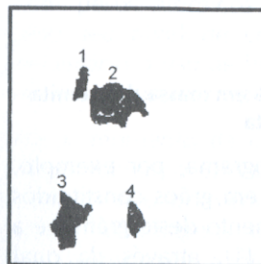
Ganga nos grãos contendo cromita



Cromita



Grãos com cromita



Cromita + Borda

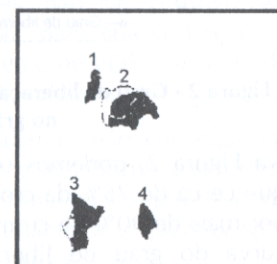
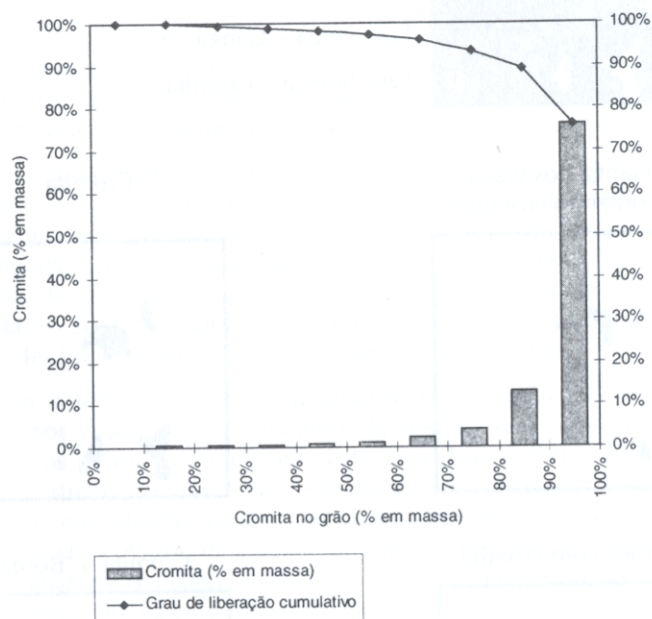


Figura 1 - Esquema simplificado do tratamento e análise de imagem

#### 4. RESULTADOS

Com a aplicação das rotinas criadas, obtivemos, no nosso estudo de caso, o grau de liberação (Figura 2) da fração entre 37 e 20  $\mu\text{m}$  do rejeito do processo de concentração da cromita proveniente da mina de Pedrinhas (BA).



**Figura 2 - Grau de liberação: distribuição da % em massa de cromita no grãos contendo cromita**

Na Figura 2, podemos observar pelo histograma, por exemplo, que cerca de 75% da cromita se apresenta em grãos constituídos por mais de 90% de cromita. Outro instrumento deste gráfico é a curva do grau de liberação cumulativo (1), através da qual podemos dizer, por exemplo, que por volta de 90% da cromita se apresenta em grãos constituídos por mais de 80% de cromita.

#### 5. DISCUSSÃO FINAL

Durante o desenvolvimento das rotinas, a individualização e rotulação dos grãos constituiu-se num problema crucial devido à limitação do analisador de imagens (IMQuant) em reconhecer grãos com mais de uma fase. Tal questão foi contornada através do desenvolvimento do método da borda, a partir de uma sugestão do Dr. William Petruk, pesquisador aposentado do CANMET – Canadá.

O método da borda é, ao mesmo tempo, solução e problema, pois, se de um lado ele promove a rotulação correta dos grãos, de outro ele gera erros por não ser a área da borda desprezível para todos os tipos e formatos de grão. Assim sendo, foram criadas sub-rotinas específicas para diversos tipos e formatos de grãos, que, com um pequeno aumento no tempo de processamento, reduziram consideravelmente os erros.

A grande limitação do método da borda, assim como da análise de imagem, é a distribuição granulométrica da amostra, que, quanto mais restrita for, mais precisa e rápida será a análise.

As imagens obtidas pelo detetor de elétrons retro-espalhados (BSD) foram o ponto de partida da análise, pois, por apresentarem níveis de cinza proporcionais ao peso atômico médio das partículas, permitem uma correlação mais direta de um determinado nível de cinza com uma fase mineral. Algumas fases, com pesos atômicos muito semelhantes, não são distinguíveis pelo seu nível de cinza e, nesse caso, para sua distinção, é necessário o uso de informação proveniente do EDS – sistema de microanálise por dispersão de energia – acoplado ao MEV.

Até o momento da conclusão deste trabalho, não conseguimos disponibilizar o EDS de maneira automatizada. Da mesma forma, também não obtivemos a automação completa do processo de análise de imagens, ou seja, captura, tratamento e quantificação das imagens sem a interferência de um analista.

A captura, o tratamento e a quantificação das imagens são, em si próprios, processos automáticos. No entanto, a automação completa da análise foi impedida, pois um dos programas do pacote (ISIS Suite 3), o IMQuant/Auto, só trabalha de forma satisfatória com a quantificação de uma única fase.

A fim de obter a automação completa da análise, inclusive EDS, começamos a desenvolver, em linguagem Delphi, um *software* que substitua o IMQuant/Auto, ligando o AutoStage (automatizador) ao IMQuant (analisador de imagens) e ao IMQuant/X (analisador químico EDS). Estas ligações com os outros programas, como no caso do IMQuant/Auto, serão feitas através de *links* DDE (troca dinâmica de dados).

Para que programas distintos estabeleçam um *link* DDE, são necessários parâmetros definidos pelos criadores dos mesmos, assim, com o apoio da representação brasileira, estamos intercedendo junto à Oxford inglesa, a desenvolvedora do pacote ISIS Suite 3, para que nos forneça tais parâmetros.

## BIBLIOGRAFIA

1. PETRUK, W., Measurement of mineral liberation in connection with mineral beneficiation. In: PETRUK, W., HAGNI, R.D., PIGNOLET-BRANDOM, S. et al. (eds.), Process Mineralogy IX (TMS, 1990) p. 31-36.

## Recuperação de Finos de Cromita por Separação Magnética e Agregação Hidrofóbica

Vivian Palmieri

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ

Fernando Freitas Lins

Orientador, Engenheiro Metalúrgico, D. Sc.

Antonieta Middea

Co-orientadora, Engenheira Química

## RESUMO

A agregação seletiva de finos de cromita, favorecida por surfatantes, foi estudada paralelamente a um processo de separação magnética a úmido, utilizando-se uma adaptação do Separador Frantz convencional. Obteve-se uma recuperação de 75% e aumento no teor de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  de 8 para 20%. As melhores condições de agregação hidrofóbica (pH, agitação, concentração de reagentes) foram estudadas e o estado de agregação determinado por MEV e Sedigraph.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente existe um grande interesse na recuperação de finos e ultrafinos fracamente magnéticos (normalmente  $<10\mu\text{m}$ ), os quais são perdidos nas matrizes dos separadores magnéticos industriais. Um processo promissor seria a agregação seletiva de partículas finas sob condições físico-químicas adequadas. Como a formação de agregados aumenta as dimensões efetivas das partículas e/ou a resposta magnética das mesmas, as possibilidades de concentrá-las tornam-se mais favoráveis (1-3).

Uma forma de concentrar esses finos seria por separação magnética a úmido de alta intensidade, precedida, ou não, por adsorção seletiva de surfatantes específicos à superfície da partícula, visando uma agregação hidrofóbica.

No que se refere à adsorção seletiva de surfatantes, sabe-se que as partículas hidrofóbicas, finamente divididas em suspensão, podem