

CARACTERIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE AGLOMERADOS DE MINÉRIO DE FERRO

Alunos: Debora Turon Wagner e Gustavo Schinazi
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.

O minério de ferro na forma de pelota é um insumo comercial com grande impacto econômico. O controle de qualidade envolve diferentes técnicas, entre as quais microscopia ótica, através da qual avalia-se a distribuição espacial das fases e o grau de maturação, que está associado à evolução microestrutural da pelota durante o processo de queima. Estas variáveis têm impacto direto nas propriedades das pelotas (p.ex. resistência à compressão e eficiência no processo de redução, na siderurgia). Atualmente, essas informações são obtidas visualmente por um operador treinado e inseridas manualmente em um relatório.

Estes procedimentos manuais não são nem reprodutíveis nem eficientes. Em trabalho anterior [1] foi desenvolvida uma rotina automática de processamento e análise de imagens para quantificação de fases, em projeto conjunto com a VALE. Com a evolução deste projeto, outros tipos de análise foram desenvolvidos e integrados em um relatório gerado de forma totalmente automática.

Objetivos

- Desenvolver um procedimento para integrar as diversas etapas de caracterização de pelotas de minério de ferro.
- Automatizar a captura de imagens de microscopia ótica, permitindo uma análise multi-resolução das amostras - distribuição de macro-poros em imagens de mosaico em baixo aumento e fração de fases sólidas em imagens de mosaico em alto aumento.
- Criar uma rotina para geração automática de relatório contendo imagens, gráficos e dados estatísticos da análise microestrutural.

Metodologia

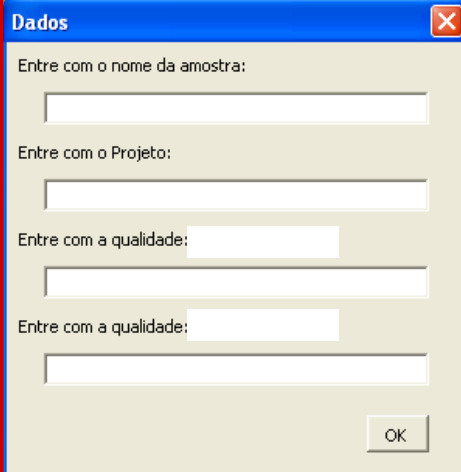
Foi utilizado um microscópio motorizado Zeiss Axioplan 2 com câmera digital AxioCam HR (1300 x 1030 pixels), e o programa AxioVision (V4.6, Carl Zeiss Vision) para controlar o microscópio, adquirir e processar as imagens, realizar as análises e gerar o relatório. As rotinas foram desenvolvidas em dois ambientes: a linguagem interna de “scripts” do AxioVision, e a linguagem de programação Visual Basic for Applications (VBA), com acesso a uma grande biblioteca de funções internas do programa. Estes dois ambientes podem ser integrados, de forma que os scripts podem chamar as “macros” desenvolvidas em VBA. Foram desenvolvidas três “macros” e um “script” que integrava todo o procedimento, desde o processamento e análise das imagens, passando pela geração de tabelas e gráficos, até a

geração automática do relatório que integra todos as imagens e dados em um “layout” padrão. O relatório gerado será apresentado, e suas partes descritas, na próxima sessão deste relatório.

Resultados e Discussão

Como explicado anteriormente, foi criado um script (uma rotina) que, através da compilação de várias funções e algumas “macros” desenvolvidas em VBA, gera automaticamente um relatório. O relatório gerado é composto por gráficos, imagens e textos que são criados e inseridos de forma automática nos lugares corretos.

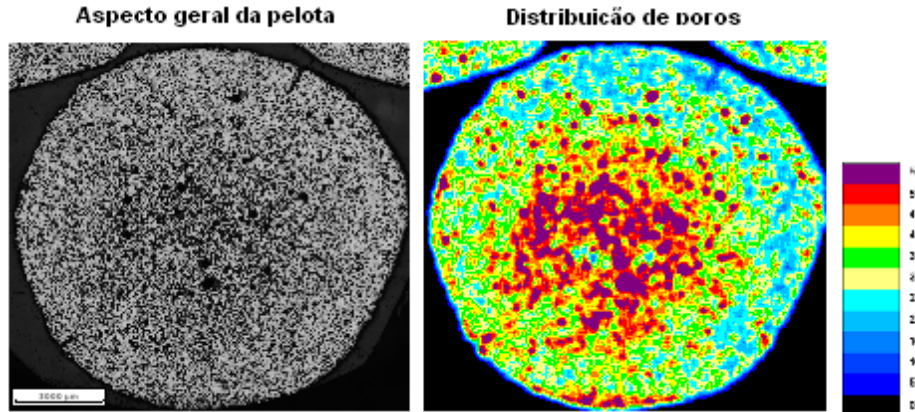
Ao rodar a rotina, a primeira interação com o operador permite a entrada de dados referentes à amostra e ao projeto em questão. Esses dados aparecem no início do relatório. O diálogo está apresentado a seguir.



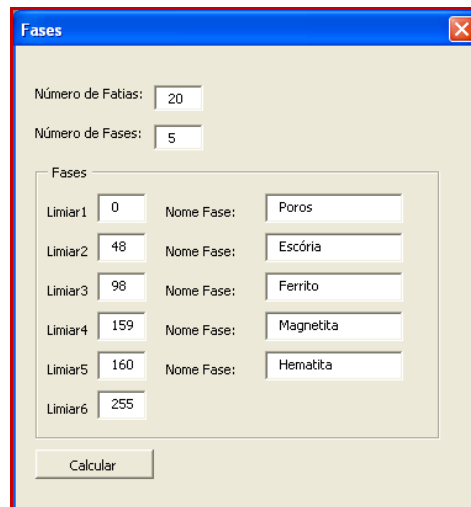
The image shows a Windows-style dialog box titled "Dados" with a blue header bar and a close button (X) in the top right corner. The dialog contains four input fields, each preceded by a label: "Entre com o nome da amostra:", "Entre com o Projeto:", "Entre com a qualidade:", and "Entre com a qualidade:". The first two labels are in a larger font size than the last two. At the bottom right of the dialog is an "OK" button.

Em seguida, o script pergunta o local onde está armazenado o mosaico da pelota completa para que este seja apresentado no relatório. Esse mosaico, em baixo aumento, é usado para uma avaliação qualitativa da pelota como um todo. Antes de ele ser inserido no relatório, ocorre a aplicação de uma escala, que é feita através de uma macro chamada mais adiante na rotina.

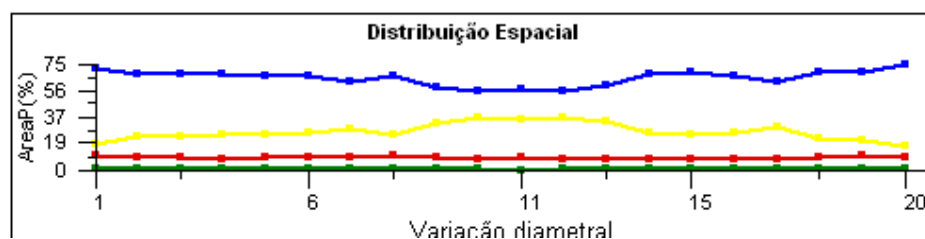
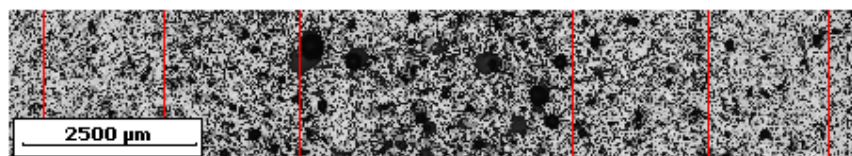
Este mesmo mosaico é processado digitalmente para gerar o mapa de porosidade. A quantificação de fases já havia sido desenvolvida no trabalho anterior e não será novamente detalhada aqui. O mapa de porosidade [3], desenvolvido no presente trabalho, se baseou na detecção automática dos poros em toda a seção transversal da pelota, criando uma imagem binária com poros brancos sobre um fundo preto. Em seguida, um filtro de média móvel (low-pass, [2]) foi utilizado para calcular o valor médio de porosidade em janelas de tamanho pré-determinado. Estes valores foram então mapeados em cores através de uma tabela (Lookup Table) e o resultado completo apresentado com um mapa de porosidade na mesma escala da amostra da pelota.



De acordo com a variação radial existente nas pelotas e as limitações de resolução apresentadas no trabalho anterior [1], utilizou-se um mosaico diametral em alto aumento, para quantificação das fases e variação espacial. Para isso, verificou-se a necessidade de realizar as medidas dividindo o mosaico de duas formas diferentes. Primeiramente, o mosaico diametral foi dividido em várias fatias de larguras iguais. O número de fatias pode ser definido de forma interativa pelo operador, conforme o diálogo mostrado abaixo (default = 20 fatias). As fatias foram segmentadas, de acordo com os limiares introduzidos pelo usuário (diálogo abaixo), e as frações de fase foram obtidas para hematita, magnetita, ferrito e escória. Esses dados foram processados e apresentados na forma do gráfico intitulado Distribuição Espacial.



Análise da região diametral da pelota



O segundo método utilizado para repartir o mosaico diametral foi em quatro regiões de tamanhos pré-definidos, de acordo com um padrão proposto na literatura: casca, manto externo, manto interno e núcleo.

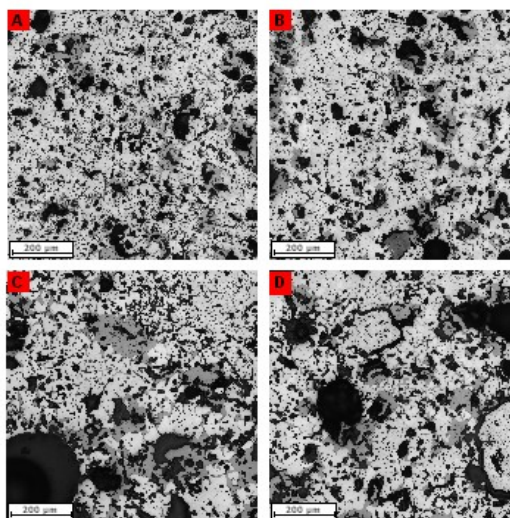
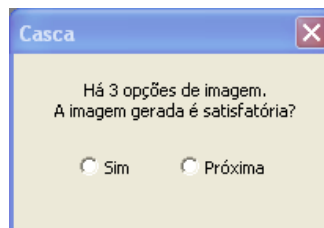
Cada região foi processada, de acordo com os mesmos limiares introduzidos pelo usuário (diálogo acima), de modo a obter as frações de fase referentes à hematita, magnetita, ferrito, escória e poros.

Fração de fase por região (%)

Região	Poros	Escória	Ferrito	Magnetita	Hematita	Total
Casca	22.43	9.93	16.46	0.19	73.42	77.58
MantoExt	24.10	8.84	22.89	0.20	68.06	75.91
MantoInt	33.43	7.74	26.31	0.17	65.79	66.57
Núcleo	42.73	8.06	32.94	0.13	58.87	57.27
Total	32.91	8.32	26.69	0.17	64.82	

Para representar a separação das diferentes regiões no mosaico diametral, foi desenvolvida outra macro que desenha retas vermelhas verticais na fronteira entre cada região (vide imagem do mosaico diametral mais acima). Assim, é possível claramente visualizar as regiões representadas na tabela. Para que o mosaico seja inserido no relatório, é aplicada uma escala, que é gerada através de uma macro chamada mais adiante na rotina.

A próxima parte da rotina chama outra macro, que gera três imagens de cada região, que são disponibilizadas para que o usuário escolha uma imagem representativa através do diálogo abaixo. A imagem selecionada referente a cada região é apresentada após a inclusão de uma escala.



Finalmente, é chamada uma macro que aplica uma escala a todas as imagens do relatório, com exceção do mapa de porosidade. Essa macro é feita de forma genérica, para

poder aplicar uma escala correta e de tamanho adequado para qualquer imagem, independente de suas dimensões.

Uma vez que todas as imagens e dados estejam disponíveis, a rotina cria tabelas e gráficos que são automaticamente posicionados, juntamente com as imagens, em duas páginas de relatório, de acordo com o layout pré-definido. Este relatório pode ser gravado em formatos padrão (pdf, rtf) para exportação.

Conclusões

A rotina criada atingiu os objetivos propostos, foi transferida para a VALE, e está em uso regular no Laboratório de Caracterização de Materiais do Centro de Tecnologia de Ferrosos.

Referências

- 1 - Wagner, D.T., **Caracterização automática de aglomerados de minério de ferro**. In: Anais-XVI Seminário de iniciação científica da PUC-Rio no campus da Universidade, 2008, p. 287,288.
- 2 - Paciornik, S.; Mauricio, M.H.P. Digital Imaging. In: VANDERVOORT, G.F. (Ed.). **ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures**. Materials Park: ASM International, 2004, p. 368-402.
- 3 – Wagner, D.T.; Rouco, H.V.; Gomes, O.D.M; Paciornik, S.; Vieira, M.B., **Caracterização de pelotas de minério de ferro por microscopia digital e análise de imagens**. In: Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, aceito para publicação.