

3 Processamento e Análise Digital de Imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI) é em um conjunto de técnicas que utiliza operações matemáticas para alterar os pixels de imagens digitais. O PDI visa melhorar a imagem, corrigindo defeitos de aquisição e/ou realçando detalhes de interesse. Em geral, o objetivo do PDI é: (i) a modificação da imagem para facilitar sua visualização; ou (ii) sua preparação para ser analisada pelo computador em um procedimento de Análise Digital de Imagens.

A Análise Digital de Imagens (ADI) consiste na extração e tratamento de dados quantitativos a partir de imagens digitais. Apesar do ser humano ser muito mais competente em tarefas de reconhecimento, a ADI pode realizar medições mais rápidas, precisas e acuradas. A ADI possibilita ainda a realização de diversas medidas impossíveis de se executar manualmente.

Comumente, o termo Processamento Digital de Imagens é encontrado na literatura referindo-se globalmente a ambas as áreas, PDI e ADI. De certo modo, isto é justificável, já que não é raro que técnicas destas áreas se intercalem e interajam dentro de uma mesma rotina. Por exemplo, uma operação de processamento pode ser determinada ou parametrizada por uma etapa anterior de análise. Neste trabalho, utiliza-se o termo Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI) para englobar as duas áreas.

A fim de estruturar seu estudo, os procedimentos e rotinas de PADI podem ser separados em etapas, de acordo com seu objetivo imediato. Assim, utiliza-se didaticamente uma seqüência padrão de aquisição, processamento e análise (Vieira & Paciornik, 2001), a partir da qual, rotinas mais sofisticadas podem ser desenvolvidas. A Figura 13 apresenta a seqüência padrão de PADI.

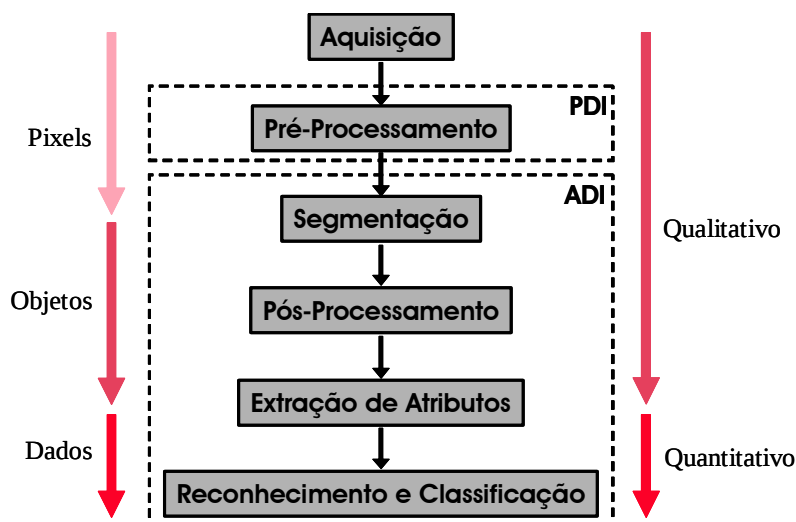


Figura 13 - Seqüência padrão de PADI.

A seqüência padrão é dividida em três blocos básicos: Aquisição, PDI e ADI. A etapa de aquisição engloba a formação da imagem e sua digitalização, fornecendo como saída uma imagem digital. O PDI consiste fundamentalmente na etapa de pré-processamento, também chamada de realce. A ADI compreende as etapas seguintes: segmentação, pós-processamento, extração de atributos e reconhecimento e classificação.

Nos lados do fluxograma da seqüência padrão, aparecem setas que indicam o nível semântico dos dados sobre os quais se trabalha. No pré-processamento e na segmentação, opera-se arbitrariamente sobre os pixels da imagem. No pós-processamento e na extração de atributos, os objetos são modificados e, em seguida, medidos. Já na etapa de reconhecimento e classificação, são analisados os resultados das medidas, ou seja, dados quantitativos.

O pré-processamento é a etapa que intenciona melhorar a imagem, corrigindo defeitos oriundos da aquisição e realçando detalhes de interesse, de modo a facilitar sua visualização ou segmentação. Isto é geralmente realizado através de aritmética de imagens (Weeks, Jr., 1996; Gonzalez & Woods, 2002). A correção de fundo, já abordada na seção 2.2.3, é uma típica operação de pré-processamento, especialmente necessária para o tratamento de imagens de microscopia óptica.

Outra operação comum de pré-processamento é a delineação. Em imagens de microscopia óptica, assim como de MEV, os pixels existentes nas fronteiras entre fases podem apresentar valores intermediários entre os valores esperados para cada uma das fases (Sutherland & Gottlieb, 1991). Este problema, conhecido como efeito halo, implica erros na segmentação destas imagens, especialmente quando são usados

métodos de segmentação espectral, como limiarização e classificação supervisionada de pixels.

A técnica freqüentemente empregada para mitigar o efeito halo é a aplicação de um filtro de delineação. Este filtro varre a imagem, procurando as transições entre fases e virtualmente decidindo a qual fase os pixels pertencem. Em geral, os filtros de delineação são implementados a partir de filtros detectores de borda (Gonzalez & Woods, 2002) ou através de morfologia matemática (Serra, 1982 e 1988).

A Figura 14 mostra uma imagem de MEV antes (esquerda) e depois (direita) da aplicação do filtro de delineação e, sob as imagens, seus respectivos histogramas em detalhe. Note que, após a delineação, as transições entre as fases tornaram-se mais abruptas na imagem. No histograma, os vales ficaram mais baixos e os picos mais bem definidos, havendo inclusive, neste exemplo, a separação de um pico em dois.

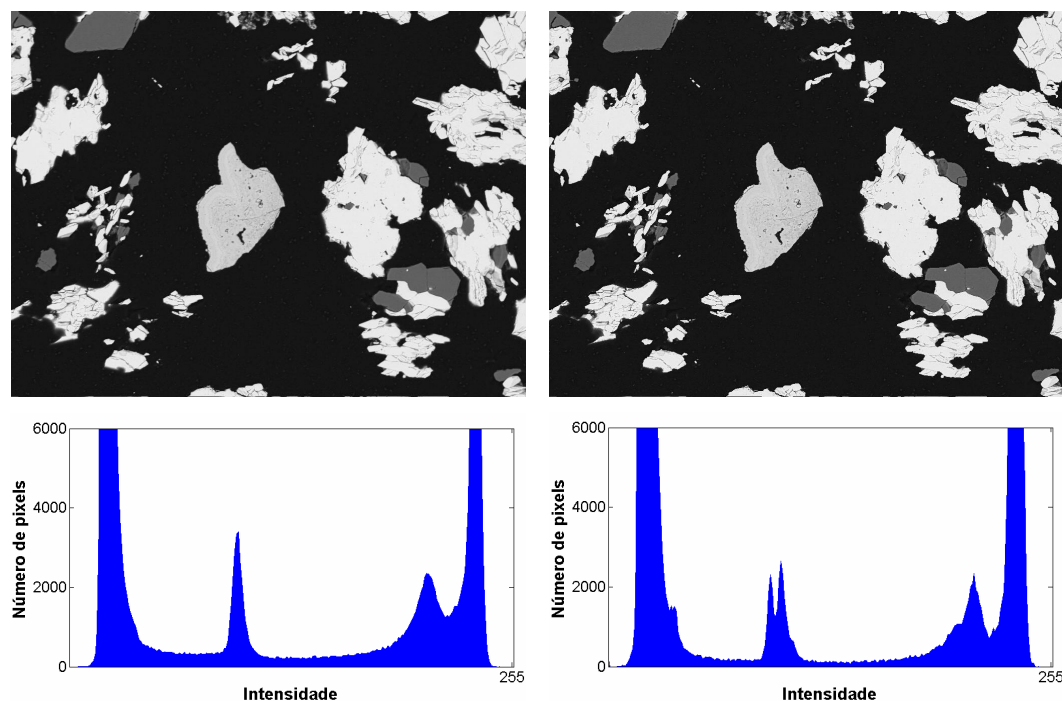


Figura 14 - Delineação.

A segmentação é um procedimento que visa reproduzir digitalmente a tarefa de reconhecer regiões de uma imagem como objetos, um processo cognitivo extremamente sofisticado realizado pela visão humana. Existem na literatura diversos métodos de segmentação baseados em diferentes princípios (limiarização de histograma, detecção de bordas, textura, morfologia matemática, etc.), cada qual mais adequado a uma aplicação específica. Assim, categoricamente, não existe um método ideal e genérico de segmentação que seja sempre o melhor. Algumas referências

clássicas na área são: Haralick (1973 e 1979), Otsu (1979), Marr & Hildreth (1980), Danielsson (1980), Pun (1981) e Canny (1986).

A segmentação particiona a imagem em regiões e distingue estas regiões como objetos independentes uns dos outros e do fundo. O resultado da segmentação são imagens com objetos, cuja representação é geralmente feita por regiões de pixels contíguos de mesmo valor. Por exemplo, um resultado típico da etapa de segmentação é uma imagem binária onde os objetos são regiões contíguas de pixels brancos em um fundo preto ou vice-versa.

Lessa et al. (2007) desenvolveram uma metodologia automática para classificação de partículas de hematita em amostras de finos de minério de ferro (*pellet feed*) que visa reproduzir uma tarefa realizada interativamente por um mineralogista ao microscópio. Esta metodologia constitui-se em um bom exemplo para ilustrar as etapas da seqüência padrão. A Figura 15 apresenta uma imagem adquirida ao microscópio óptico onde aparecem diversas partículas de *pellet feed* e, ao lado, mostra a imagem binária resultante da segmentação da fase hematita.

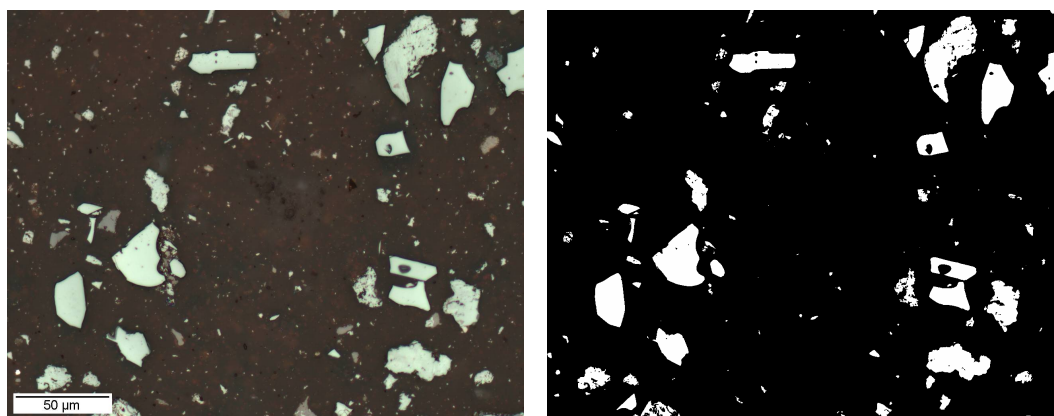


Figura 15 - Segmentação.

Muitas vezes o resultado da segmentação não é adequado, sendo necessária uma etapa de pós-processamento antes da realização de medidas nos objetos. O pós-processamento visa aprimorar o resultado da segmentação. Por exemplo, união, separação e eliminação de objetos são procedimentos comuns da etapa de pós-processamento. Geralmente, tais procedimentos são realizados através de operações lógicas e de morfologia matemática (Serra, 1982 e 1988).

A Figura 16 mostra a imagem binária da figura anterior e, a seu lado, a imagem binária obtida após a separação de partículas em contacto e a eliminação de pequenos defeitos, partículas espúrias e partículas que tocam a borda da imagem.

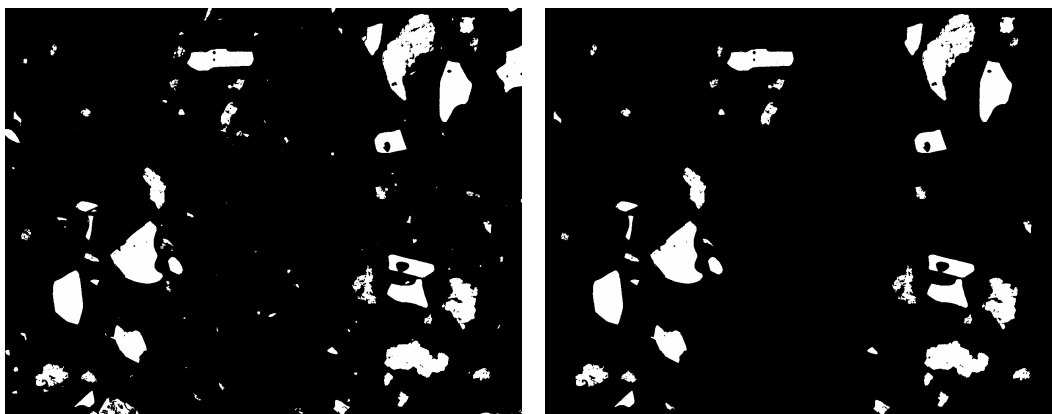


Figura 16 - Pós-processamento.

A extração de atributos é a etapa de análise na qual os objetos na imagem são identificados e características (tamanho, forma, posição e textura), tanto dos objetos como da imagem, são medidas (Russ, 1990 e 1998; Friel, 2000). A partir daí, na etapa de reconhecimento e classificação, estes dados quantitativos são analisados. O que se pretende nesta etapa é transformar informação em conhecimento.

No exemplo em questão, foram medidos diversos parâmetros de forma das partículas de hematita e estes dados foram fornecidos a um classificador previamente treinado por um mineralogista experiente. A Figura 17 apresenta a imagem das partículas de hematita classificadas segundo sua forma, as marcadas em verde foram classificadas como hematita especular e as em vermelho como hematita porosa.

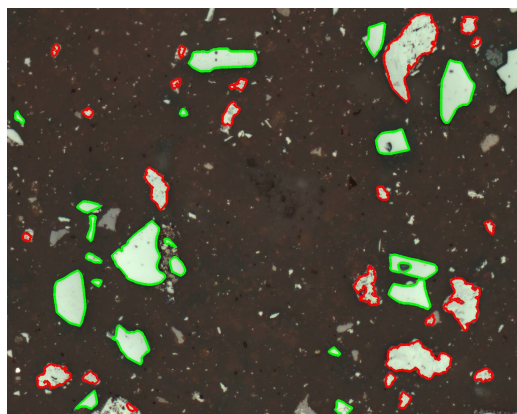


Figura 17 - Reconhecimento e classificação.

A seqüência padrão é uma generalização. Obviamente, ela não é imutável e seu grau de flexibilização denota a complexidade do problema envolvido. Qualquer etapa pode ser retirada ou repetida. A partir da segmentação, uma análise pode fazer o fluxograma retroceder, até mesmo à etapa de aquisição, reciclando o processo de modo a aprimorá-lo. Na verdade, geralmente existe alguma reciclagem em rotinas automáticas de PADI.