

## 7 Conclusão

No presente trabalho, foi desenvolvida, implementada e testada uma inovadora metodologia de microscopia co-localizada que integra a microscopia óptica de luz refletida (MO) com a microscopia eletrônica de varredura (MEV). A, assim chamada, microscopia co-localizada MO-MEV combina precisamente as imagens de MO e de MEV para formar uma imagem multi-componente de cada campo observado. Deste modo, é possível aproveitar conjuntamente as qualidades destas técnicas tradicionais de microscopia, visando suplantar suas limitações.

A motivação para o desenvolvimento da microscopia co-localizada MO-MEV foi a resolução de problemas clássicos da microscopia de minerais. A microscopia co-localizada MO-MEV amplia muito as possibilidades de contraste, tornando possível a discriminação de fases que são indistinguíveis ao MO ou ao MEV. Por exemplo, no estudo de caso do minério de ferro itabirítico, mostrou-se que as fases que não são distinguíveis ao MO (resina epóxi e quartzo) ou ao MEV (hematita e magnetita) podem ser discriminadas através da microscopia co-localizada MO-MEV.

O sistema de microscopia co-localizada MO-MEV envolve desde a aquisição até a análise das imagens. Assim, a metodologia desenvolvida é composta por quatro etapas: aquisição de imagens no microscópio óptico; aquisição de imagens no MEV; registro; e análise de imagens.

As etapas de aquisição de imagens nos microscópios foram implementadas através de rotinas automáticas. Estas rotinas de aquisição automática não demandam *hardware* específico, apenas o controle de funções básicas e a movimentação das platinas por *software*. Isto indica uma boa portabilidade do sistema, o que certamente será objeto de trabalhos futuros. Além de experimentá-lo em outros pares MO-MEV, o autor pretende estudar sua instalação em sistemas já integrados, como, por exemplo, uma microssonda eletrônica.

O registro é a etapa em que é feita a combinação dos dois tipos de imagens (MO e MEV). De fato, o registro é o coração da microscopia co-localizada MO-MEV, sem ele, nada é possível. A partir do entendimento das fontes de distorções entre as imagens, foi desenvolvido um algoritmo automático de registro, permitindo

o ajuste de magnificação, translação, rotação, tamanho de pixel e distorções locais. Desta forma, as imagens registradas de MO e de MEV são combinadas precisamente de modo a formar uma imagem multi-componente MO-MEV de cada campo. A viabilidade prática da microscopia co-localizada MO-MEV estaria decisivamente comprometida sem o algoritmo automático de registro.

A etapa final é a análise das imagens MO-MEV. Esta é a etapa menos genérica do sistema, pois, como qualquer procedimento de análise de imagens, depende do problema em questão. Todavia, a multidimensionalidade destas imagens representa uma particularidade que traz à tona a necessidade do emprego e, às vezes, do desenvolvimento de técnicas de análise multivariada, incomuns na análise de imagens microscópicas tradicionais. Neste contexto, destacam-se a delimitação multi-componente RGB e a segmentação por classificação supervisionada de pixels.

Durante o desenvolvimento da microscopia co-localizada MO-MEV, foram utilizadas amostras de dois minérios sulfetados de cobre. Tais minérios consistem em sistemas complexos, com múltiplas fases, algumas de difícil distinção até mesmo visual. Estas dificuldades impulsionaram o desenvolvimento do sistema MO-MEV e a utilização nele das técnicas de Reconhecimento de Padrões que possibilitaram a identificação e discriminação das fases minerais presentes.

A microscopia co-localizada MO-MEV foi também utilizada na caracterização de amostras de um minério de ferro itabirítico, contendo basicamente hematita, magnetita, goethita e quartzo. Este minério de ferro, apesar de compor um sistema mais simples, representou um desafio especialmente interessante, pois a identificação e discriminação de suas fases não pode ser realizada através das técnicas tradicionais de microscopia. Este é um problema clássico da microscopia de minerais e sua resolução tem relevância científica e importância econômica.

A microscopia co-localizada MO-MEV representa, de fato, um novo modo de contraste em microscopia. Assim, esta técnica tem vasto potencial de aplicação na caracterização microestrutural de minérios e materiais e também em outros campos da Ciência. Atualmente, o autor vem trabalhando com colaboradores na utilização da microscopia co-localizada MO-MEV para análise de inclusões em aços e na caracterização de outros minérios de ferro e produtos derivados (sínteres e pelotas).