

# A GEOMETALURGIA E A GEOESTATÍSTICA: MELHORES PRÁTICAS PARA ESTIMATIVAS DE RECURSOS E RESERVAS, CONTROLE DE PRODUÇÃO E ELABORAÇÃO DE PROJETOS<sup>1</sup>

Ricardo Álvares de Campos Cordeiro<sup>2</sup>

João Augusto Hilário de Souza<sup>3</sup>

Bernardo Horta de Cerqueira Viana<sup>4</sup>

## Resumo

As estreitas exigências do mercado quanto às especificações para produtos é tradicional nas indústrias mineral e metalúrgica. Em função da natural exaustão das jazidas de teores mais altos, os minérios têm ficado mais pobres em elementos aproveitáveis, mais volumosos em rejeitos e mais contaminados por deletérios. Essa tendência leva também a projetos com escalas de produção maiores e processos de concentração mais complexos. Nas novas jazidas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, ocorre o aumento da proporção de óxidos hidratados, que exigem maior controle de deletérios e da perda ao fogo; no caso das novas fronteiras de jazidas ferríferas, Norte de Minas e Piauí, a presença de sulfetos pode exigir novos tipos de controles de lavra, de processo e de deletérios. Nas jazidas de metais básicos (Ni, Cu e Zn) e fosfato acrescenta-se a preocupação com os metais pesados, radioativos e até com a proporção entre os elementos de interesse; os teores decrescentes são continuamente conflitantes com as necessidades de aumentos dos teores dos concentrados e diminuição dos deletérios. Em todas as jazidas, de qualquer mineral, o controle de qualidade dos rejeitos e suas formas de deposição fazem parte da rotina diária produtiva, principalmente quando em forma de polpa. Este artigo apresenta resumos sobre as geologias das jazidas dos minérios citados, os métodos de caracterização geometalúrgica existentes e, principalmente, as formas geoestatísticas de tratamento de dados que os correlacionam às estimativas de recursos e de reservas, aos projetos e aos controles produtivos de processo, atividades hoje essenciais para um bom andamento de um projeto mineiro-metalúrgico.

**Palavras-chave:** Caracterização; Geometalúrgica; Geoestatísticas; Processo

## GEOMETALLURGY AND GEOSTATISTICS: BEST PRACTICES FOR RESOURCE AND RESERVE ESTIMATION, PRODUCTION CONTROL AND PROJECTS DESIGN<sup>1</sup>

### Abstract

The restrict requirements of the market regarding products specifications are traditional in the mining and metallurgy industries. Because of natural exhaustion of higher-grade deposits, ore grades have become poorer in usable elements, greater volume in tailings and contaminated by deleterious. This trend leads to larger scale projects and more complex concentration processes. There has been an increase on the proportion of hydrate oxides in the new iron ore deposits of the "Quadrilátero Ferrífero". This demands a better control of deleterious and losses on fire; in case of new iron deposit frontiers (North of the Minas Gerais State and Piauí State) the presence of sulphides may require new control types of mining, process and deleterious. In the basic metal deposits (Ni, Cu and Zn) and phosphate, the concern is added regarding heavy and radioactive metals and even the proportion between the elements of interest; the decreasing grades are in continuous conflict with the need of grade increase of concentrated and the decrease of deleterious. All deposits of any mineral, the tailings quality control and its stocking methods are part of the daily productive routine, especially when ore is in pulp. This article brings summaries on the geology of the iron ore deposits mentioned, the existing methods of metallurgical characterization and, above all, the geostatistical ways of treating the data correlating them and the resource and reserves estimation, the project and the processes productive controls, which are currently essential activities to the good progress in a mineral-metallurgical project.

**Key words:** Characterization; Geometallurgical; Geostatistics; Process.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Minas, MSc, Gerente de Desenvolvimento Mineral e Projetos de Beneficiamento da Coffey Mining*

<sup>3</sup> *Engenheiro de Minas, MBA, Gerente de Projetos de Lavra da Coffey Mining*

<sup>4</sup> *Geólogo, MBA, Gerente de Recursos e Reservas da Coffey Mining*

# 1 INTRODUÇÃO

Em função da natural exaustão das jazidas de teores mais altos, os minérios têm ficado mais pobres em elementos aproveitáveis, mais volumosos em rejeitos e mais contaminados por deletérios. Essa tendência leva também a projetos com escalas de produção maiores e processos de concentração mais complexos.

No caso específico do Brasil, em função do ambiente geológico de forte intemperismo, a maioria das jazidas ainda apresenta formações argilosas em suas superfícies ou em intrusões que se misturam parcial ou totalmente às porções aproveitáveis.

Em todas as jazidas, de qualquer mineral, o controle de qualidade dos rejeitos e suas formas de deposição fazem parte da rotina diária produtiva, principalmente quando em forma de polpa, por exigências ambientais e de segurança.

As condições geológicas mais complexas dos novos depósitos e as exigências dos investidores baseados em códigos internacionais tornam as estimativas de recursos e reservas, a elaboração de projetos e os controles produtivos de processo mais difíceis e, em conseqüência, requerem práticas mais refinadas de métodos de caracterização geometalúrgica combinadas com tratamento geoestatístico de dados mais detalhados.

Nas novas jazidas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, ocorre o aumento da proporção de óxidos hidratados, que exigem maior controle de deletérios e da perda ao fogo; no caso das novas fronteiras de jazidas ferríferas, Norte de Minas e Piauí, a presença de sulfetos pode exigir novos tipos de controles de lavra, de processo e de deletérios.

Nas jazidas de metais básicos (Ni, Cu e Zn) e fosfato acrescenta-se a preocupação com os metais pesados, radioativos e até com a proporção entre os elementos de interesse; os teores decrescentes são continuamente conflitantes com as necessidades de aumentos dos teores dos concentrados e diminuição dos deletérios.

Os métodos geoestatísticos podem ser aplicados a qualquer depósito mineral para efetuar o controle de variáveis regionalizadas tais como, características físicas, químicas, mineralógicas, geológicas, de processo, de metalurgia e de utilização dos minérios, produtos e rejeitos.

Portanto, a experiência de tratamento geoestatístico de dados de geologia e de caracterização geometalúrgica de metais básicos, fosfato, de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero e de outros minerais, para estimativas de reservas e recursos, elaboração de projetos e controle de produção, pode ser aplicada aos novos depósitos de minério de ferro do Brasil.

Entretanto, como é natural na mineração, espera-se que esses novos depósitos apresentem características geológicas e mineralógicas próprias, com diferenças substanciais entre si e em relação às jazidas de minério de ferro conhecidas das outras províncias brasileiras.

Prevê-se a necessidade de estudos profundos da geologia e da elaboração de caracterização geometalúrgica de cada um desses novos depósitos, estudos esses que deverão ser conduzidos com o objetivo de geração de conhecimentos particulares que possam ser tratados por métodos geoestatísticos para maior facilidade e rapidez nas estimativas de recursos e reservas, elaboração de projetos e controle de produção.

## **2 METODOLOGIA**

Foi feita revisão bibliográfica com foco principal nos casos de estudos de caracterização geometalúrgica de amostras de vários minérios e de métodos geoestatísticos para estimativas de reservas e recursos, elaboração de projetos de lavra ou para controle de produção.

A revisão relativa aos minérios de metais básicos, fosfato, calcário e outros minérios objetiva mostrar que a caracterização geometalúrgica e o tratamento geoestatístico são usados normalmente nas grandes minas de quaisquer minerais; e são instrumentos fundamentais para a determinação das variáveis de cada minério que têm influência nos processos produtivos da mina e usina, bem com nas utilizações da matéria prima mineral.

Para os minérios de ferro, a revisão tem o objetivo de ressaltar as diferenças marcantes entre as características dos minérios das principais províncias minerais do Brasil e, também, mostrar que, até mesmo entre as minas e jazidas do Quadrilátero Ferrífero, há diferenças importantes entre as tipologias de minérios.

No caso do tratamento geoestatístico, a revisão tem o objetivo de mostrar que é fundamental para o estabelecimento das correlações entre as variáveis de cada minério com as reservas e recursos, isto é, com a geologia da jazida; em consequência, tem forte atuação no projeto da lavra, no planejamento da lavra e no processo produtivo.

## **3 REVISÃO**

### **3.1 Revisão Bibliográfica – Metais Básicos e Outros Minérios**

Pena et al.<sup>(1)</sup> fizeram um resumo geral sobre o Projeto Cobre Salobo, com informações sobre estudos de caracterização geometalúrgica de minério de Cu, Mo e Au e tratamento geoestatístico dos dados para estimativas de reservas e recursos, bem como para a elaboração de projetos de lavra e beneficiamento.

Silveira et al.<sup>(2)</sup> abordaram a caracterização tipológica de minérios, em um complexo minero-metalúrgico, com foco na geometalurgia para integração do processo, geoestatística e planejamento de lavra, com busca da manutenção das variáveis metalúrgicas com variâncias mínimas e garantia da qualidade média da jazida e do produto.

Chieregati e Delboni Junior<sup>(3)</sup> desenvolveram metodologia de caracterização tecnológica de minérios quanto à cominuição, cuja principal característica foi o emprego de amostras com massa e tamanho extremamente reduzidos.

Chula, Brandão e Aquino<sup>(4)</sup> fizeram caracterizações mineralógicas em dez amostras de minérios fosfáticos ricos em carbonatos e silicatos da mina de Tapira, em Minas Gerais, que ocorrem em partes mais profundas da cava, para investigar a influência dessas tipologias na flotação da apatita.

Choque Fernandez et al.<sup>(5)</sup> fizeram um estudo de caracterização textural em produtos cominuídos e grau de liberação do minério de cobre de Salobo, em Carajás (PA).

Kahn, Biava e Silveira<sup>(6)</sup> caracterizaram o rejeito do processamento mineral da Mineração Serra da Fortaleza para verificar a forma de ocorrência do níquel e enxofre presentes e com o objetivo de avaliar a possibilidade de recuperação desses elementos através de processos de beneficiamento.

### 3.2 Revisão Bibliográfica – Minérios de Ferro

Antunes Neto<sup>(7)</sup> fez uma proposta para definição de litologias na mina de minério de ferro de Conceição, em Itabira (MG), através de variogramas construídos com os vários tipos de minérios, antes do desenvolvimento do modelamento que expresse adequadamente a propriedade estrutural das variáveis de controle.

Santos e Brandão<sup>(8)</sup> caracterizaram duas tipologias de minério de ferro semelhantes mineralogicamente da Mina de Alegria, com estudo da mineralogia, composição química, granulometria, microestrutura, grau de alteração e de liberação.

Magalhães e Brandão<sup>(9)</sup> avaliaram a susceptibilidade magnética como mais uma técnica de caracterização de minérios de ferro, especificamente em frações *sinter feed* e em sínteres de escala industrial produzidos a partir desses minérios.

Santos, Brandão e Sampaio<sup>(10)</sup> realizaram estudos de caracterização enfocando a mineralogia, morfologia e a área superficial específica de três tipologias de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

Caldeira et al.<sup>(11)</sup> fizeram identificação de óxi-hidróxidos de ferro através de espectroscopia micro-Raman, que permite a identificação de fases cristalinas e amorfas em misturas complexas.

Cruz et al.<sup>(12)</sup> fizeram caracterização das lamelas de minério de ferro da MBR com o objetivo de analisarem a recuperação de *pellet feed*.

Vieira et al.<sup>(13)</sup> identificaram que a caracterização geometalúrgica é muito importante para controlar a qualidade das matérias primas nos processos de aglomeração e que pode aumentar a produtividade na sinterização e pelotização.

## 4 ABORDAGEM GEOLÓGICA – NOVAS FRONTEIRAS DE MINÉRIOS DE FERRO

Em passado recente, a demanda global para o minério de ferro era alta e, por esse motivo, materiais contendo ferro com teores e níveis de contaminação fora do que era considerado convencional passaram a ter mercado significativo.

Com a nova demanda, naturalmente aflorou a busca por tecnologias que aumentem o desempenho produtivo dos tradicionais depósitos e, também, ocorreu a procura pelo desenvolvimento de novas fronteiras de minério de ferro, que, obviamente, sempre apresentam variações e novidades geológicas e mineralógicas.

Portanto, é esperada a necessidade de trabalho intenso para o aprimoramento do conhecimento geológico e mineralógico desses novos minérios, bem como do comportamento metalúrgico e industrial de seus produtos. Por esses motivos, a combinação da caracterização geometalúrgica com o tratamento geoestatístico passa a ser, novamente, ferramenta fundamental para a aceleração desse processo investigativo de desenvolvimento em função de seu poder de maximização do aproveitamento econômico.

Contaminações comuns como a SiO<sub>2</sub>, Al, P, Mn, Ti e S estão relacionadas diretamente com a composição mineralógica de cada depósito em cada região individualizada.

As alternâncias mineralógicas e, conseqüentemente, composicionais podem ser exemplificadas comparando-se, resumidamente, as diferenças das principais províncias de minério de ferro no Brasil: Quadrilátero Ferrífero, MG; Província Novo Horizonte, MG; Urucum, MS; e Serra dos Carajás, PA.

As litologias que são consideradas como minérios no Quadrilátero Ferrífero podem ser, genericamente, divididas em minérios de alto teor, itabirito, itabirito anfíbolítico e o itabirito dolomítico. Os minérios de alto teor são basicamente composições de hematita com alguns minerais acessórios como: quartzo, magnetita e pirofilita. Os itabiritos, por sua vez, têm mineralogia distinta para cada uma de suas bandas.

Os itabiritos visualmente são divididos em bandas claras e escuras. As bandas escuras são compostas por óxido de ferro (sendo a hematita o mineral dominante e a magnetita ocorrendo subordinadamente). Os minerais acessórios nos itabiritos são quartzo e sericita; nos itabiritos dolomíticos, óxidos de manganês, quartzo e dolomita; nos itabiritos anfíbolíticos, quartzo e anfíbólios. A mineralogia das bandas apresenta, principalmente, quartzo nos itabiritos, dolomita nos itabiritos anfíbolíticos e tremolita/actinolita, hornblenda e grunerita nos itabiritos anfíbolíticos. Podem ocorrer minerais acessórios como óxidos de manganês, clorita, sericita, talco, dolomita e anfíbólios. Em todos os casos é comum a ocorrência de fosfatos e de sulfetos.

Na Província de Carajás, PA, a zona mineralizada tem espessura típica entre 400 e 450 metros de, principalmente, formação ferrífera bandada, e em, alguns locais, rochas dolomíticas. Localmente, também ocorrem intrusões de rochas máficas. Essa zona mineralizada é composta por jaspilitos (quartzo cripto/microcristalino com inclusões de hematita criptocristalizada) e hematitas friáveis, além de algumas lentes de hematita compacta. Mesmo havendo individualmente pouca variabilidade no teor de Fe, os minérios apresentam variações importantes de SiO<sub>2</sub> (principalmente com a profundidade), Al, P e Mn (os dois primeiros na presença de limonita e goethita e o último no contato com a sequência vulcânica).

Os depósitos de Urucum, no Estado do Mato Grosso do Sul, são compostos basicamente por jaspilitos que tiveram ou não a sílica lixiviada. Esses jaspilitos são, basicamente, compostos por lentes (geralmente planares) de quartzo criptocristalino e hematita microcristalina ocorrendo sob a forma de agregados de cristais muito finos.

A Província Novo Horizonte, considerada a nova fronteira de minério de ferro do Brasil localizada no norte do Estado de Minas Gerais, está localizada sobre rochas do Grupo Macaúbas de idade Neoproterozóica (Supergrupo São Francisco). Os recursos têm potencial para mais de 15 bilhões de toneladas. As rochas são constituídas por um pacote metasedimentar contendo filitos, quartzitos, metadiamicctitos e hematitas enriquecendo os metadiamicctitos. Os metadiamicctitos ferruginosos possuem um capeamento bem desenvolvido que enriqueceu a crosta em ferro (canga), sendo que essa crosta é composta por colúvio, goethita, specularita e hematita. A mineralização de ferro está associada com a hematita contida nos metadiamicctitos e quartzitos.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 Metais Básicos E Outros Minérios**

No trabalho de Pena et al.,<sup>(1)</sup> as estimativas de reservas por tratamento geoestatístico abrangendo os teores de Cu, Au, Ag, Mo e Fe foram comparadas ao método tradicional e clássico de Inverso do Quadrado da Distância (IQD), com

obtenção de diferenças menores que 10% (dez por cento) que foram consideradas normais e dentro das margens previstas.

No caso de Silveira et al.,<sup>(2)</sup> obtiveram sucesso em mostrar que a integração do processo da usina, a geoestatística e o planejamento de lavra conduz a um melhor conhecimento das características físico-químicas do minério e integração mina e usina, com repercussões muito favoráveis no processo produtivo da usina de concentração, no controle de deletérios e na regularização da qualidade da alimentação e da produção.

O método desenvolvido por Chieregati e Delboni Junior<sup>(3)</sup> não substitui o método existente denominado Modelo, mas é extremamente útil devido ser aplicável em amostras de pequeno volume como de testemunhos de sondagem; ao usar amostras de testemunhos de sondagem, consegue determinar a variabilidade do minério na jazida frente à cominuição e, por isso, torna-se extremamente útil para avaliar o desempenho da moagem no processo produtivo.

Na caracterização de minério de fosfato em regiões mais profundas da mina de Tapira, em Minas Gerais, Chula, Brandão e Aquino<sup>(4)</sup> fizeram caracterizações mineralógicas em dez amostras de minérios fosfáticos ricos em carbonatos e silicatos usando técnicas de difração de raio-x, análises químicas, microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura e microsonda eletrônica; definiram três grupos de rochas: clinopiroxenitos pouco alterados, clinopiroxenitos micáceos e clinopiroxenitos ricos em magnetita e perovskita, que apresentaram composições mineralógicas semelhantes (diopsídio parcialmente alterado ou não para anfibólio, apatita, carbonatos, minerais micáceos, magnetita, perovskita e anatásio) variando somente a proporção entre eles. O estudo demonstrou a variação da proporção entre os minerais exigirá mudanças na flotação e que os carbonatos, por ocorrerem em vênulas ou em inclusões na apatita, poderão exigir maior redução na granulometria para liberação.

No estudo de Choque Fernandez et al.<sup>(5)</sup> conseguem identificar texturas de intercrescimento muito finas nos minérios de Cu de Salobo, que podem ser liberadas em tempos maiores de moagem, mas produzindo maiores quantidades de finos que seriam perdidos como lamas.

No caso dos rejeitos de níquel sulfetado de Serra da Fortaleza, Kahn, Biava e Silveira<sup>(6)</sup> utilizaram análises granulométricas e separações minerais (separação magnética e gravítica) seguidas de análises mineralógicas por microscopia ótica, eletrônica de varredura e difração de raio-x para identificação das frações e minerais que contém Ni, Cu e Co, bem como os minerais de ganga.

## **5.2 Minérios de Ferro**

A proposta de Antunes Neto<sup>(7)</sup> demonstrou que a classificação dos minérios “in situ” em várias litologias e controle de lavra por métodos geoestatísticos redundaria também no melhor controle de produtos, em sugestão inovadora para a época.

As duas tipologias de minério de ferro semelhantes mineralogicamente da Mina de Alegria caracterizadas por Santos e Brandão<sup>(8)</sup> apresentaram hematita, goethita, magnetita, quartzo e minerais argilosos em sua constituição. Uma delas, identificada como K, é composta predominantemente por hematita martítica e lamelar; a outra litologia, identificada como N, apresentou, ainda, a goethita como constituinte importante, além de hematita martítica e lamelar. Apesar da relativa simplicidade mineralógica apresentada pelas duas tipologias, foram identificadas diferentes feições microestruturais para um mesmo mineral.

A avaliação de Magalhães e Brandão<sup>(9)</sup> usou a propriedade magnética como mais um instrumento de caracterização e demonstrou que a suscetibilidade magnética do *sinter feed* é diretamente proporcional à suscetibilidade do sínter formado e que o Índice de Degradação sob Redução (RDI) é inversamente proporcional à suscetibilidade magnética do sínter, construindo, pois, uma correlação entre o produto metalúrgico e a matéria prima de minério de ferro.

O estudo de Santos, Brandão e Sampaio<sup>(10)</sup> enfocou a mineralogia, morfologia e a superfície específica das três amostras analisadas, revelando diferenças significativas entre as áreas superficiais de cada uma das tipologias e demonstrando sua influência provável na reologia das polpas formadas pelos respectivos concentrados de cada tipo.

Caldeira et al.<sup>(11)</sup> demonstram que uso de espectroscopia Raman para a identificação precisa de óxidos e hidróxidos pode ser muito útil também para a determinação de compostos amorfos, com muita importância para a área ambiental e de rejeitos de mineração.

O estudo de caracterização das lamas de minério de ferro da MBR feito por Cruz et al.<sup>(12)</sup> demonstrou que a recuperação de rejeitos para a produção de *pellet feed* natural pode ser muito vantajosa principalmente quando se obtém um produto com superfície específica apropriada para pelletização sem necessidade de moagem.

Vieira et al.<sup>(13)</sup> identificaram que a caracterização geometalúrgica é muito importante para controlar a qualidade das matérias primas nos processos de aglomeração de finos de minério de ferro, sugerindo o controle mineralógico, a porosidade, a textura, a morfologia, o tamanho dos cristais e formas da partículas com o objetivo de aumento da produtividade do processo de aglomeração, sinterização ou pelletização.

## 6 CONCLUSÃO

A caracterização geometalúrgica conjugada com a geoestatística são técnicas consolidadas e usadas para minérios de metais básicos, fosfatos, minério de ferro e outros minerais para o controle da moagem, melhor conhecimento de rejeitos, elaboração de projeto, estimativas de reservas, confirmação de mudanças nas tipologias com a evolução da cava e outros objetivos.

No caso específico de minérios de ferro, observam-se usos que compreendem, também, o estabelecimento de correlação entre as matérias primas e os produtos sinterizados e pelletizados nas etapas metalúrgicas de aglomeração.

A necessidade de investigações de novas técnicas de determinação de óxidos e hidróxidos, com uso imediato em rejeitos e na área ambiental, confirma que somente as técnicas de uso corrente ainda não são suficientes frente à complexidade dos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero.

Mesmo as tipologias minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero de uma mesma mina com composições mineralógicas semelhantes apresentam feições microestruturais diferentes e, por esse motivo, podem ter comportamentos antagônicos frente a um mesmo método de processo de concentração como, por exemplo, a flotação; ou apresentarem superfícies específicas diferentes por questões de porosidade, com influência no processo de pelletização ou na reologia de polpas, que modifica as condições de bombeamento em minerodutos.

A partir da inclusão dos itabiritos da Quadrilátero Ferrífero na categoria de minérios, a produção de “*pellet feed*” ganhou destaque e, dessa maneira, a

caracterização geometalúrgica de “pellet feed” passou a ter muito importância para a garantia da qualidade das pelotas.

Os itabiritos anfibolíticos e dolomíticos, também do Quadrilátero Ferrífero, aparecem, ainda, como minérios marginais, mas já despertam o interesse nas minas em operação como fontes prováveis para a melhoria do desempenho e maximização da produção, e deverão, com certeza, demandar intensos trabalhos de caracterização geometalúrgica e de modelamento geoestatístico com o objetivo de controle de variabilidade de deletérios na concentração e na produção de pelotas.

Na Província Mineral de Carajás, os minérios de ferro apresentam altos teores de ferro e pouca variabilidade desse elemento principal, mas os deletérios tem variabilidade em profundidade e, por esse motivo, exigem atento controle de lavra em curto, médio e longo prazos, com aplicação importante de tratamento geoestatístico para controle de qualidade dos produtos.

Nos depósitos de Urucum, o jaspilito mais superficial e lixiviado tem sido explorado e produz excelentes produtos granulados e hematitinha, mas as frações mais finas e abaixo de 6,35mm apresentam-se, ainda, como desafio para controle ou extração de deletérios e obtenção de mercado em função da difícil logística; o jaspilito de camadas mais profundas, não lixiviado e de alta sílica, ainda não desponta como potencial minério, mas, com certeza, seus grandes e volumosos recursos de altos teores de Fe são merecedores de análise mais atenta e cuidadosa.

A Província Novo Horizonte, localizada no norte do Estado de Minas Gerais, e cujos recursos são avaliados em mais de 15 bilhões de toneladas parece ser a mais nova fronteira de minério de ferro ser desenvolvida. A julgar pela maior complexidade geológica que aparenta ter frente às outras províncias, prevê-se que os estudos de caracterização geometalúrgica e desenvolvimentos de processo exigirão trabalhos mais árduos em comparação com aqueles já desenvolvidos para os minérios do Quadrilátero Ferrífero. A combinação da geometalurgia com o tratamento geoestatístico será, sem dúvida, extremamente importante para acelerar o desenvolvimento dessa nova e desafiante fronteira mineral.

## **Agradecimentos**

- Agradecimento especial ao engenheiro de minas Porfírio Cabaleiro Rodrigues.
- À Coffey International Limited e Coffey Brazil.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 PENA, C.A.T.; HILÁRIO, J.A.; PEREIRA, C.E.; BANDEIRA, R.L. Projeto Cobre Salobo. In: II Congresso LatinoAmericano de Mineraria; III Congresso Brasileiro de Mineração. São Paulo; v.2; p.288-342, jul.1989.
- 2 SILVEIRA, B.V.; GRACIOSO, J.E.; LUZ, P.O.; RODRIGUEZ, P.C. Caracterização Tipológica de Minérios, Uma Abordagem Geometalúrgica. In: II Congresso LatinoAmericano de Mineraria; III Congresso Brasileiro de Mineração. São Paulo; v.1, p.16-27, jul.1989.
- 3 CHIEREGATI, A.C.; DELBONI JÚNIOR, H. Novo Método de Caracterização Tecnológica para Cominuição de Minérios. In: XIX ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Recife (PE); v.1, p.95-102, nov.2002.
- 4 CHULA, A.M.D.; BRANDÃO, P.R.G.; AQUINO, J.A. Caracterização de Minérios Fosfáticos com Elevados Teores de Carbonatos e Silicatos da Mina de Tapira (MG). In:

- XX ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Florianópolis (SC); v.1, p.17-32, jun.2004.
- 5 CHOQUE FERNANDEZ, O.J.; COSTA, M.L.; BRANDÃO, P.R.G.; PÖLLMANN, H. Caracterização Textural em Produtos Cominuídos e Grau de Liberação do Minério de Cobre de Salobo (Carajás). In: XX ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Florianópolis (SC); v.1, p.81-88, jun.2004.
  - 6 KAHN, H; BIAVA, A.A.R; SILVEIRA, G.M.P. Estudos de Caracterização de Rejeito do Processamento do Minério Sulfetado de Níquel de Serra da Fortaleza, MG. In: XXI ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Natal (RN); v.1, p.61-68, nov. 2005.
  - 7 ANTUNES NETO, J. Utilização de Análise Variográfica para Classificar Tipos de Minérios de Ferro da Mina de Conceição – Itabira. In: In: II Congresso LatinoAmericano de Mineraria; III Congresso Brasileiro de Mineração. São Paulo; v.1, p.28-42, jul.1989.
  - 8 SANTOS, L.D.; BRANDÃO, P.R.G. Estudos Mineralógicos e Microestruturais em Amostras de Minérios de Ferro da Mina de Alegria-MG. In: XIX ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Recife (PE); v.1, p.110-116, nov.2002.
  - 9 MAGALHÃES, M.S.; BRANDÃO, P.R.G. Caracterização de Minérios de Ferro (Fração Sinter Feed) e Sínter a Partir de Suscetibilidade Magnética: Estudo Preliminar. In: In: XIX ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Recife (PE); v.1, p.117-123, nov.2002.
  - 10 SANTOS, L.D.; BRANDÃO, P.R.G.; SAMPAIO, D.A. Influência das Características Mineralógicas e Morfológicas nas Propriedades Reológicas de Polpas de Concentrados de Minérios de Ferro. In: XX ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Florianópolis (SC); v.1, p.41-48, jun.2004.
  - 11 CALDEIRA, C.L.; DANTAS, M.S.S.; MÜLLER, K.; CIMINELLI, V. Identificação de Óxi-Hidróxidos de Ferro Através de Espectroscopia Micro-Raman. In: XXI ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Natal (RN); v.1, p.47-54, nov. 2005.
  - 12 CRUZ, M.R.; BORGES, A.A.M.; AMARANTE, S.C.; SOUZA, C.C. Aproveitamento de Rejeitos MBR – Etapa Lama. In: XXI ENTMME – Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Natal (RN); v.1, p.55-59, nov. 2005.
  - 13 VIEIRA, C.B. ; ROSIÈRE, C. A<sup>2</sup>; 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. In: International Symposium on Beneficiation, Agglomeration and Environment - Isban 99, Bhubaneswar, India, 20-22 January, 1999.