



Rem: Revista Escola de Minas

versão impressa ISSN 0370-4467

Rem, Rev. Esc. Minas v.54 n.4 Ouro Preto out./dez. 2001

doi: 10.1590/S0370-44672001000400009

Mineração

Distribuição espacial de concreções piríticas e sua influência na performance de conjuntos mecanizados em mina de carvão

Serviços

- Serviços customizados
- Artigo em XML
- Referências do artigo
- Curriculum ScienTI
- Como citar este artigo
- Acessos
- Citado por SciELO
- Similares em SciELO
- Tradução automática
- Enviar este artigo por email

João Felipe C.L. Costa
Eng. de Minas, Prof. Dr. do DEMIN, UFRGS
E-mail: jfelipe@ufrgs.br

Jair Carlos Koppe
Eng. de Minas/Geól., Prof. Dr. do DEMIN, UFRGS
E-mail: jkoppe@ufrgs.br

Luis Eduardo de Souza
Eng. de Minas, Mestrando do PPGEM, UFRGS
E-mail: esouza@ufrgs.br

Gustavo G. Pilger
Eng. de Minas, Doutorando do PPGEM, UFRGS
E-mail: gustavo@ufrgs.br

Resumo

O planejamento mineiro na indústria carbonífera é tradicionalmente desenvolvido utilizando um modelo geológico construído pela discretização de atributos relevantes (geológicos, de engenharia, etc.) em blocos de lavra. O planejamento da produção é elaborado com base em modelos geológicos 3D representando importantes características, tais como acumulação de carvão, recuperação na planta de beneficiamento além de outras propriedades geoquímicas relevantes para, por exemplo, a caracterização ambiental. Nas operações de lavra com conjuntos mecanizados, as propriedades mecânicas das rochas são julgadas relevantes na medida em que têm influência direta na performance do equipamento. A resistência da rocha e sua abrasividade têm um impacto direto na produtividade do sistema. Dificuldades operacionais podem surgir quando cortadeiras de frente atuam em zonas contendo altas concentrações de concreções piríticas. Em situações extremas, altas concentrações de concreções podem penalizar de tal forma a atuação de conjuntos mecanizados, em termos de custos, que podem tornar impraticável sua operação, se o esquema de avanço não foi corretamente previsto. Esse artigo apresenta uma metodologia de previsão da distribuição espacial de pirita baseada em krigagem. Os resultados provaram

ser apropriados baseando-se em uma reconciliação obtida pela comparação de percentagens de pirita versus consumo de bits. Um estudo de caso em um grande depósito de carvão ilustra a metodologia.

Palavras-chave: concreções piríticas, krigagem ordinária, modelo de blocos.

Abstract

Mine planning in the coal industry is traditionally developed using a geological model built by discretising relevant geological and engineering attributes into small blocks. Production scheduling is planned based on a 3D geological model representing important features, such as coal cumulation, coal recovery at the plant and other geochemical properties relevant for environmental characterisation. In coal operations using continuous mining systems, rock mechanics properties are deemed relevant as these properties directly influence equipment performance. Rock mass resistance and its abrasiveness impact directly the system productivity. Operational difficulties may arise when using continuous coal cutters within zones containing high concentrations of pyrite concretions. In extreme situations, high pyrite concentration makes unpractical the use of continuous systems with severe costs penalties if not predicted in advance. This paper presents a methodology to forecast pyrite spatial distribution based on kriging. The results proved to be appropriate based on reconciliation obtained comparing pyrite percentage versus bit consumption. A case study in major coal deposit illustrates the methodology.

Keywords: pyrite concretions, ordinary kriging, block model.

1. Introdução

O planejamento mineiro utiliza um modelo geológico construído pela divisão do corpo de minério em blocos de lavra, aos quais são atribuídas informações geológicas e tecnológicas relevantes, utilizando um método de interpolação. Em minas de carvão, esses atributos incluem, tipicamente, espessura de camada e densidade. Muitas empresas carboníferas não incorporam atributos geológicos e de engenharia aos modelos 3D. A importância do modelamento de outros parâmetros, tais como resistência da rocha, abrasividade, dureza ou quantidade de concreções piríticas, está associada à performance de equipamentos de escavações. Vários equipamentos de mineração têm sua produtividade largamente afetada pelas características do material a ser escavado.

Algumas minas subterrâneas de carvão empregam equipamentos como mineradores contínuos ou cortadeiras de carvão. Esses apresentam alto custo por desgaste de determinadas peças de corte. Pelas condições específicas de terreno e pela legislação ambiental brasileira para minas de carvão subterrâneas, o método de câmaras e pilares sem recuperação de pilares é recomendado. Algumas dessas minas utilizam cortadeiras para melhorar o desempenho do desmonte, criando uma nova face livre, sendo que o desgaste das peças de corte é muito sensível à abrasão e à dureza do carvão.

O consumo de bits é um item importante no custo operacional total para mineradores contínuos e cortadeiras de carvão. Concreções piríticas são freqüentemente observadas na camada minerada e sua ocorrência está associada com um aumento no consumo de bits ([Figura 1](#) e [2](#)) (Costa et al., 2000). A [Figura 1](#) apresenta a camada de carvão minerada, na verdade trata-se de uma seqüência de layers de carvão alternados com siltito, onde são destacadas as ocorrências de concreções piríticas. A [Figura 2](#) mostra as várias formas nas quais as concreções se manifestam.



Figura 1 - Perfil da camada de carvão mostrando as ocorrências de concreções de pirita (destacadas).

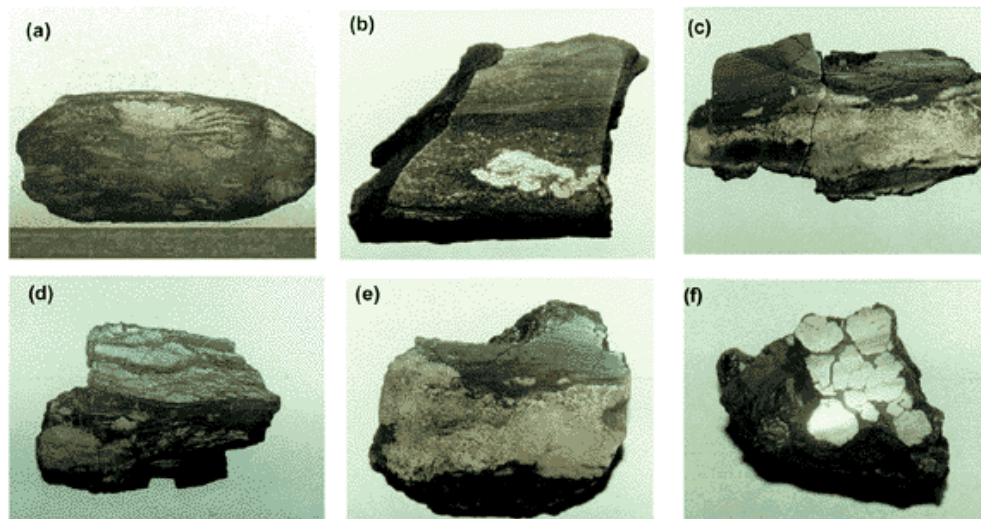


Figura 2 - Tipos de concreções piríticas presentes na camada de carvão: (a) semi-compacta com material carbonáceo, (b) pirita compacta amorfa e pirite em pequenos cristais, (c) pirita em pequenos cristais mudando para pirita compacta com bandas, (d) pirita material carbonáceo interacamadado, (e) pirita compacta com bandas grosseiras e (f) pirita euédrica.

Devido ao alto consumo de bits e seu impacto nos custos totais de lavra, uma análise abrangente das possíveis causas para seu consumo excessivo foi proposta. Setores com alto conteúdo de enxofre tendem a ter maior impacto nos custos operacionais das cortadeiras. Basicamente, o alto teor de enxofre pode estar associado à presença de concreções de pirita que causariam desgaste prematuro dos bits. Com o objetivo de solucionar essa questão, esse artigo propõe um procedimento para modelamento do processo que controla a ocorrência de pirita e sua distribuição espacial através de geoestatística.

A geoestatística é largamente utilizada em modelamento de fenômenos controlados espacialmente e estudos de casos em depósitos de carvão são encontrados em Hohn et al. (1988), Armstrong et al. (1989), Barua (1993), Murphy e Brown (1993), Sharma e Ramani (1995), Wu et al. (1990), Bonato et al. (2000), Pilger et al. (2001) e Costa et al. (2000).

2. Modelamento da distribuição espacial de enxofre

Para gerar o modelo de distribuição de enxofre, vários passos foram necessários. O trabalho foi dividido em:

- i. Coleta de dados.
- ii. Análise dos dados.
- iii. Estimativa dos blocos.

2.1. Coleta dos Dados

A [Figura 3](#) mostra a área abrangida nesse estudo, que foi restrita às zonas expostas de carvão na operação subterrânea. Amostras de canal foram efetuadas cobrindo a área definida pelos principais acessos e painéis. Em cada posição de amostragem, um canal de 0,25 m de largura, do teto até a lapa da camada, foi mapeado. A variável definida em cada posição é a percentagem de pirita (em peso) obtida para a camada Barro Branco ([Figura 4](#)), combinando-se o comprimento de cada espessura ([Figura 5](#), detalhando a porção inferior da camada Barro Branco) com suas respectivas densidades ([Tabela 1](#)).

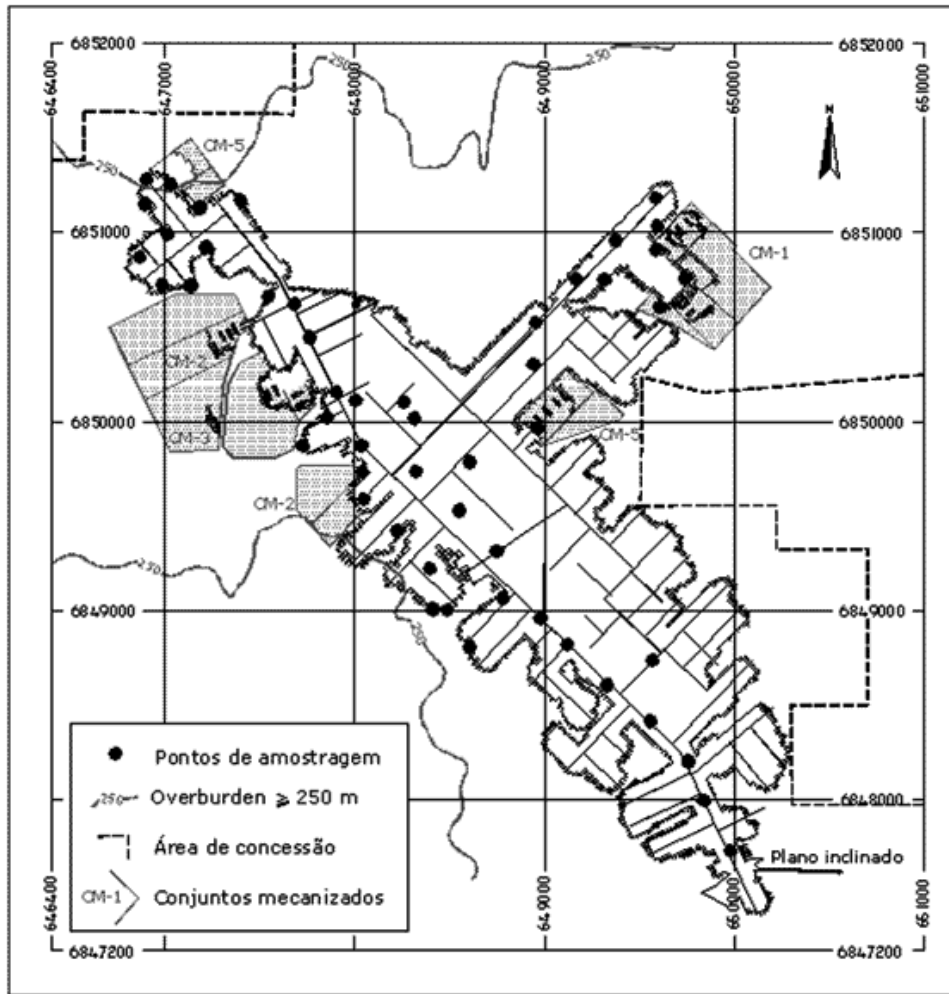


Figura 3 - Mapa de localização mostrando os pontos de amostragem.



Figura 4 - Perfil típico da camada Barro Branco.

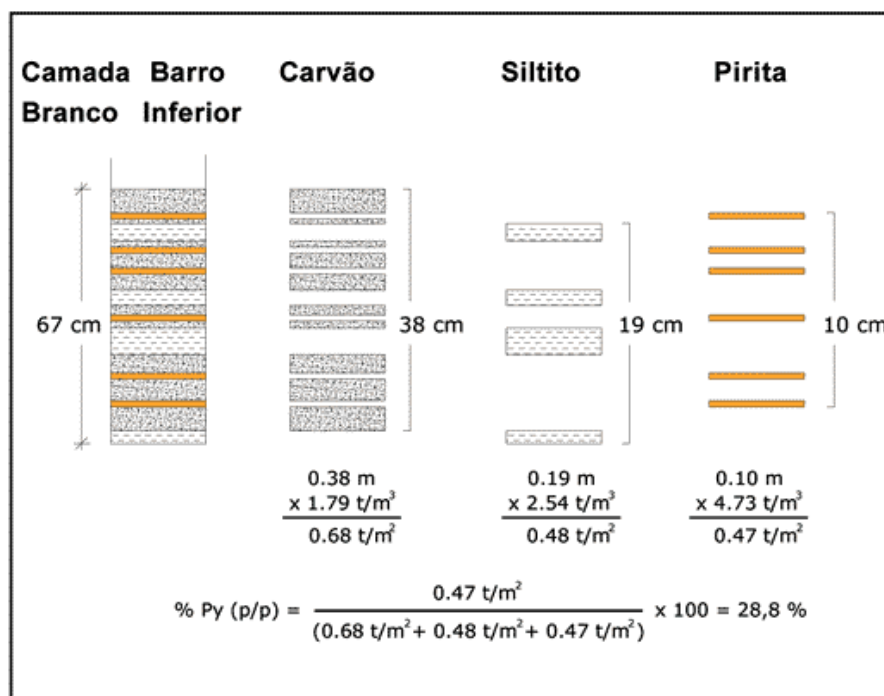


Figura 5 - Exemplo de como a porcentagem de pirita foi determinada com base na espessura de cada litologia ponderada pela suas respectivas densidades.

Tabela 1 - Valores de densidade para as litologias presentes na camada Barro Branco.

Litologia	Densidade (t/m ³)
Siltito	2,54
Folhelho	2,09
Carvão	1,79
Pirita	4,73
Marga	2,39

A [Figura 5](#), apresenta o procedimento de cálculo da porcentagem de pirita de concreções combinando (multiplicação) o comprimento de três litologias pelas suas respectivas densidades e dividindo o produto pelo comprimento total da camada. As densidades das litologias presentes na Camada Barro Branco são apresentadas na [Tabela 1](#).

2.2 Análise dos Dados

A partir dos 51 perfis mapeados na mina e da transformação dos comprimentos de pirita em porcentagem em peso, como apresentado na [Figura 5](#), o histograma dos valores obtidos foi determinado e é apresentado na [Figura 6](#). Uma vez que as amostras estavam agrupadas, um procedimento de desagrupamento por célula móvel foi utilizado para obter uma estatística global representativa (Deutsch and Journel, 1998, p. 213-214).

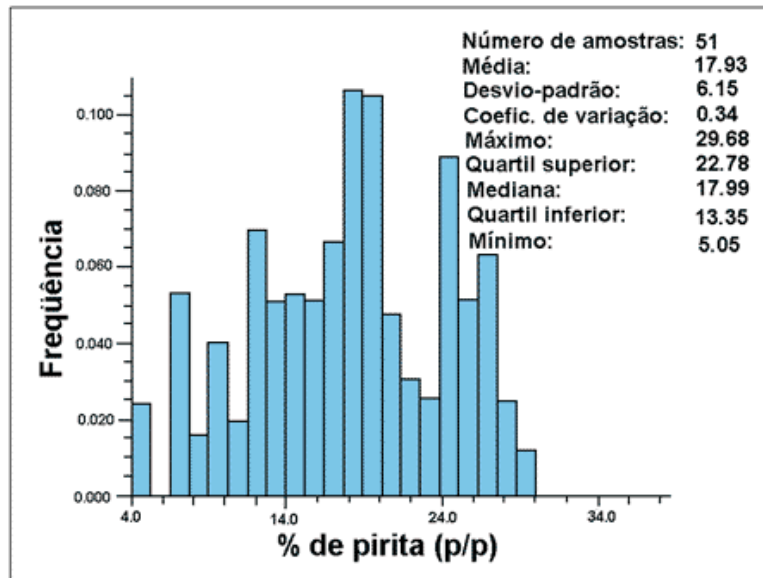


Figura 6 - Histograma desagrupado e estatística descritiva para a percentagem de concreções piríticas (em peso).

A partir da análise estatística, pode ser observado que a variável de interesse (% de pirita) tem um baixo coeficiente de variação, sendo seu histograma razoavelmente simétrico. Na seqüência, uma análise da continuidade espacial foi efetuada, modelando a maior e a menor direção de continuidade a NW-SE e NE-SW, respectivamente. A direção de maior continuidade coincide com a direção da calha da bacia carbonífera. Um modelo variográfico $[\gamma(h)]$ esférico (Sph) com duas estruturas foi estimado a partir dos pontos do variograma experimental (Figura 7a e 7b) e é dado por:

$$\gamma(h) = 8.85 + \left\{ 16.17 \cdot Sph_{(1)} \left[\frac{h 157.5^\circ}{87 m}, \frac{h 67.5^\circ}{70 m} \right] + 11.43 \cdot Sph_{(2)} \left[\frac{h 157.5^\circ}{835 m}, \frac{h 67.5^\circ}{537 m} \right] \right\} \quad (1)$$

$$Sph = \begin{cases} \frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^2 & \text{if } h \leq a \\ sill & \text{if } h > a \end{cases}$$

onde: a é o alcance do variograma.

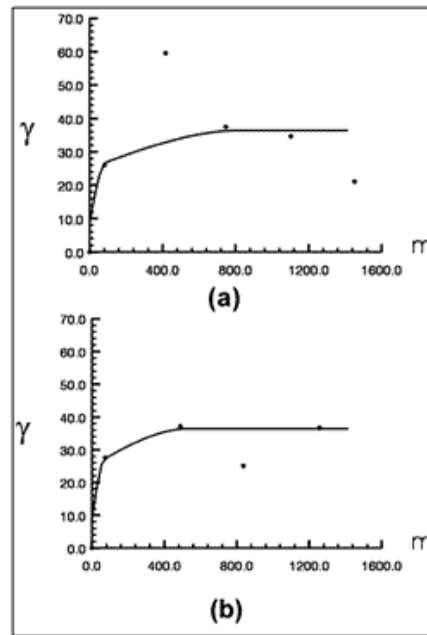


Figura 7 - Variogramas direcionais, respectivamente o maior (a) e menor (b) eixo de anisotropia.

2.3 Estimativa dos blocos

Vários métodos de interpolação existem para construção de um modelo de blocos em um depósito mineral. Devido à baixa variabilidade e à assimetria apresentadas pelos dados ([Figura 6](#)), a krigagem ordinária (Matheron, 1963) foi o interpolador selecionado. O tamanho de blocos de krigagem selecionado foi de 100 x 100 m, correspondendo a aproximadamente $\frac{1}{4}$ do espaçamento de amostragem médio.

Como era esperado, o modelo de blocos krigados exibe a anisotropia espacial das concreções de pirita representada pelo variograma e utilizada durante a interpolação ([Figura 8](#)). A média dos valores dos blocos krigados reproduz a média desagrupada obtida dos dados amostrais.

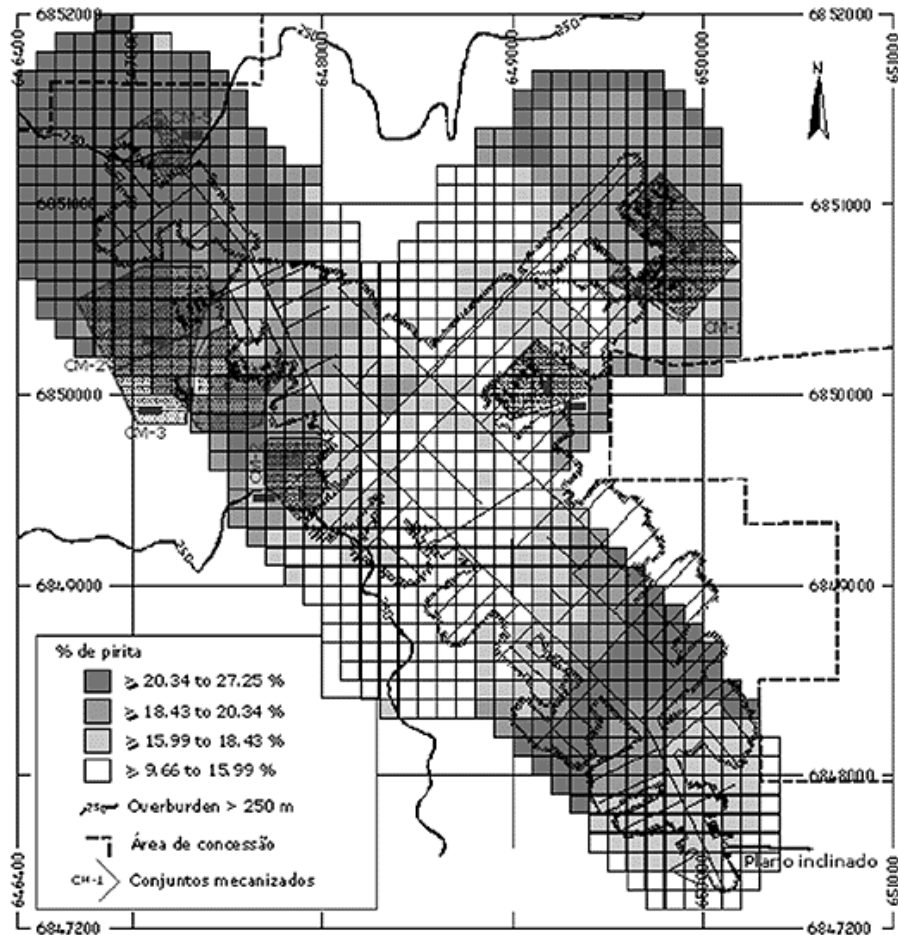


Figura 8 - Modelo de bloco com valores da percentagem de concreções piríticas (blocos de 100 x 100 m). A escala de cinza representa a percentagem de pirita na camada.

3. Comparação do modelo estimado com zonas de alto consumo de bits

Com o objetivo de reconciliar o modelo estimado, foram coletadas amostras adicionais em outros pontos da mina. Essa campanha de amostragem foi orientada para:

- i. Cobrir áreas onde as cortadeiras estavam operando.
- ii. Coletar amostras suficientes em um dado bloco para reconciliar os valores estimados com os dados reais.

Paralelamente à amostragem, o trabalho de campo envolveu o levantamento em cada painel do consumo de bits para cada posição das cortadeiras. O consumo de bits foi dividido em bits quebrados durante o corte e bits quebrados durante a limpeza da face (depois do corte estar finalizado). Esse procedimento garantiu que o bit incluído na correlação foi aquele destruído provavelmente pela presença de concreções piríticas.

Para ilustrar o efeito da percentagem de pirita no consumo de bits, o modelo de blocos foi sobreposto ao mapa de avanço da lavra. Dois painéis foram selecionados para demonstrar os resultados, respectivamente os painéis onde atuavam os conjuntos mecanizados 1 e 3 (Figuras 9 e 10). O consumo de bits foi registrado para esses painéis durante três meses consecutivos (Figura 11).

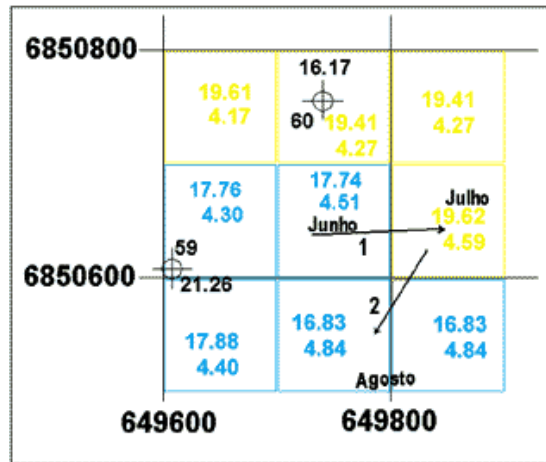


Figura 9 - Blocos com valores de percentagens de pirita e direções de avanço de lavra (seta) de junho a agosto de 1999 (CM1).

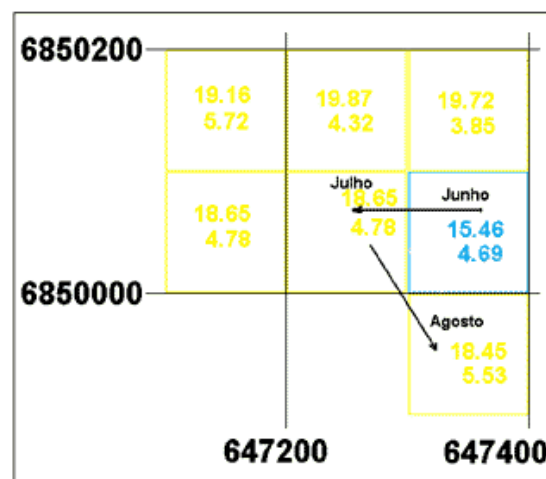


Figura 10 - Blocos de percentagens de pirita e direções de avanço de lavra (seta) de junho a agosto de 1999 (CM3).

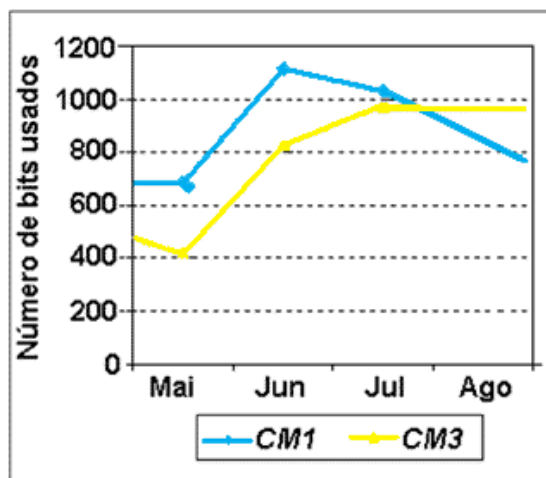


Figura 11 - Consumo de bits de maio a julho de 1999 para o CM1 e o CM3.

Após a comparação das direções de avanço da lavra com as percentagens de pirita e consumo de bits, notou-se que o incremento das percentagens de pirita implica uma elevação do desgaste dos bits. A [Figura 9](#) identifica as direções de avanço de lavra. As setas 1 apontam as direções de avanço de junho para julho, enquanto as setas 2 mostram o avanço de julho para agosto. Nesses dois períodos, as variações de percentagem de pirita coincidem com a tendência de acréscimo (ou decréscimo) do consumo de bits. Na [Figura 10](#), um comportamento similar é verificado, isto é, durante os dois períodos avaliados, a lavra avançou na direção de maior ocorrência de pirita, o que foi detectado pelo incremento no consumo de bits.

Outros fatos aliados ao alto percentual de pirita contribuem para o incremento do consumo de bits, tais como a habilidade dos operadores das cortadeiras e o tipo de concreção atingido pelo bit (ver [Figura 2](#)). Mesmo existindo uma correlação positiva entre consumo de bit e ocorrência de concreção, os diferentes tipos de pirita influenciam a quantidade de danos causados ao bit. Formas compactas de pirita, tais como aquelas apresentadas na [Figura 2a](#) e [2b](#), são mais danosas que piritas euédricas ([Figura 2c](#)). Essa situação provoca, em algumas circunstâncias, um inesperado baixo consumo de bits em zonas de alta concentração de pirita (e vice-versa).

5. Conclusões e recomendações

Existe uma clara tendência associando consumo de bits com percentagem de pirita na camada. A metodologia geoestatística empregada para abordar o problema de mapear a distribuição espacial da pirita provou ser apropriada e colaborou para ressaltar zonas de alta e baixa percentagem de pirita. Os resultados desse estudo permitem incorporar ao planejamento mineiro decisões quanto à viabilidade da operação das cortadeiras em uma dada zona da mina. Trabalhos futuros deverão enfocar a classificação e modelamento (provavelmente de forma separada) dos tipos de pirita que impactam mais significativamente o consumo de bits.

6. Agradecimentos

Essa pesquisa foi possível graças ao suporte financeiro da Carbonífera Metropolitana S.A. e da Fundação Luiz Englert.

7. Referências bibliográficas

PILGER, G.G., COSTA, J.F.C.L., KOPPE, J.C. Projeto de amostragem: uma proposição baseada em simulação estocástica. *REM - Revista da Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 53, n. 4, p. 265-274, 2000. [[Links](#)]

BONATO, F.S., COSTA, J.F.C.L., KOPPE, J.C. Planejamento de lavra baseado na variabilidade de atributos geológicos. *REM - Revista da Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 53, n. 4, p. 275-284, 2000. [[Links](#)]

COSTA, J.F.C.L., KOPPE, J., PILGER, G., TURELLI, S. Genesis and spatial distribution of pyrite concretions at Esperança Mine. **Relatório interno**. Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2000. 40 p. [[Links](#)]

HOHN, M.E., SMITH, C.J, ASHTON, K.C., MCCOLLOCH, G.H. Mapping coal quality parameters for economic assessments, **American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin**. v. 72, n. 8, p. 965, 1988. [[Links](#)]

ARMSTRONG, M., GILLIES, A.D.S., JUST, G.D, LYMAN G.D., WU, Y.Y. Review of the applications of geostatistics in the coal industry. In: Armstrong, M. (ed.), v. 2, p. 995-1005, 1989. [[Links](#)]

BARUA, S. Coal preparation and geostatistics: a blend of technologies to forecast clean coal qualities. In: Proceedings of the Third International Geostatistics Congress - Avignon'88, 3. **Proceedings...** In: Armstrong, M. (ed.). Netherlands: Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, p. 1041-1052, 1993. [[Links](#)]

MURPHY, T.D. e BROWN, K.E. Combining geostatistics and simulation to predict sulfur at a Central Illinois Coal Mine. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, **Inc. Transaction**. v. 294, p. 284-287, 1993. [[Links](#)]

SHARMA, P. e RAMANI, R. Geostatistical spectral and fractal simulation of sulphur distributions in a coal seam. In: International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industry, 25. **Proceedings...** Published by Australasian Inst. of Mining and Metallurgy (AusIMM), 9-14 July, Brisbane, Australia, p. 149-160, 1995. [[Links](#)]

WU, Y.Y. **Application of geostatistics to the construction of in situ coal quality models**. University of Queensland, Dept. of Mining and Metallurgical Engineering. 1990. (PhD Thesis). [[Links](#)]

DEUTSCH, C.V., JOURNEL, A.G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide**. New York: Oxford University Press, 1998. 345 p. [[Links](#)]

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, n. 58, p. 1246-1266, 1963. [[Links](#)]

Artigo recebido em 17/09/2001 e aprovado em 13/12/2001.



Todo o conteúdo do periódico, exceto onde está identificado, está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](#)

Escola de Minas

**Praça Tiradentes, 20
35400-000 Ouro Preto MG - Brazil
Tel: (55 31) 3551-4730**



editor@rem.com.br