

CONTROLE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE OTIMIZA PLANEJAMENTO DA MINA

Esse aspecto é crucial nas minas de calcário para cimento, a longo prazo

GIORGIO DE TOMI⁽¹⁾
NELSON CAMURUGI SENHORINHO⁽²⁾
TETSUO OISHI⁽³⁾
PAULO FERNANDO T. DAMASCENO⁽⁴⁾

O presente trabalho apresenta o atual estágio do desenvolvimento de uma metodologia específica para otimizar a cava final e a programação de lavra de jazidas de calcário para cimento, fundamentado na combinação das mais modernas e consagradas técnicas de otimização e seqüenciamento de lavra. Os resultados irão permitir o máximo aproveitamento do depósito, garantir o apropriado planejamento de impacto ambiental, bem como a qualidade de produção de matérias-primas para a fabricação de cimento, através da definição antecipada dos limites precisos das fases de lavra e da cava final.

Dentre as indústrias de minerais não-metálicos, a de cimento é uma das mais significativas do País. O cimento é um dos mais importantes materiais de construção a serviço da engenharia, com um vastíssimo campo de atuação, que vem se expandindo com a criação de novas aplicações. As principais matérias-primas

para a fabricação do cimento são o calcário e a argila, que são lavrados normalmente em minas próximas à fábrica de cimento, visando a minimizar custos relacionados a transporte de material. A diversificação dos produtos (argamassa, cimento de alta resistência inicial, clínquer mineralizado, etc.) e a crescente exigência de qualidade desses produtos tornam as especificações impostas às matérias-primas cada vez mais restritivas. O problema

é definir qual e em que proporção devem ser feitas essas misturas de matérias-primas e como deve ser dirigida a lavra da jazida, de modo a não só atender prontamente a uma mistura satisfatória do ponto de vista químico e mineralógico que assegure a marcha tranquila da fábrica, mas também garantir um aproveitamento econômico baseado nas tecnologias da lavra e britagem disponíveis no mercado atual.

A técnica empregada no presente projeto de pesquisa prevê a definição de parâmetros restritivos para a blendagem dos blocos e a sua otimização, empregando o algoritmo de Lerchs-Grossman, com o intuito de melhor definir a forma da cava final. Esta será alcançada quando o resultado da sua avaliação mostrar um máximo aproveitamento dos recursos geológicos disponíveis, atentando para os constrangimentos locais de lavra existentes.

Existem algumas dificuldades operacionais para a otimização de cavas de calcário para cimento: é difícil determinar o valor de cada bloco, visto que, embora

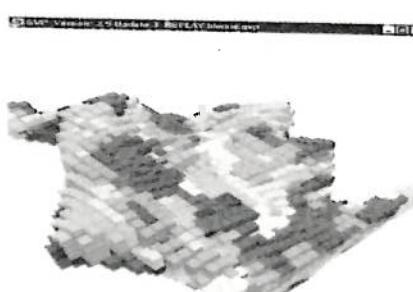


Figura 01 – Vista tridimensional de um modelo geológico

- 1 LAPOL-Laboratório de Planejamento e Otimização de Lavra
- 2 Mestrando do departamento de engenharia e minas da EPUSP bolsista da FAPESP
- 3 Produtiva Geologia e Engenharia Mineral S C Ltda
- 4 Cimento Tocantins S A

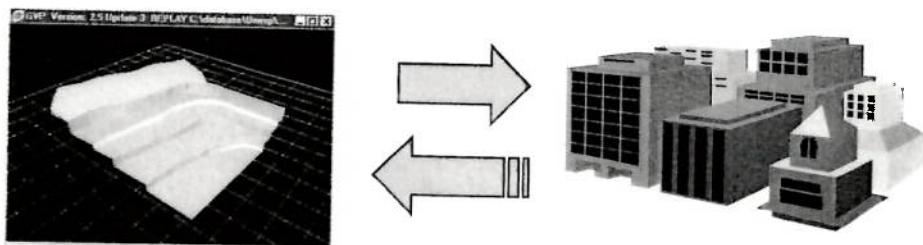


Figura 02 – Intereração entre Mina-Fábrica

Minérios & Minerais CALCÁRIO

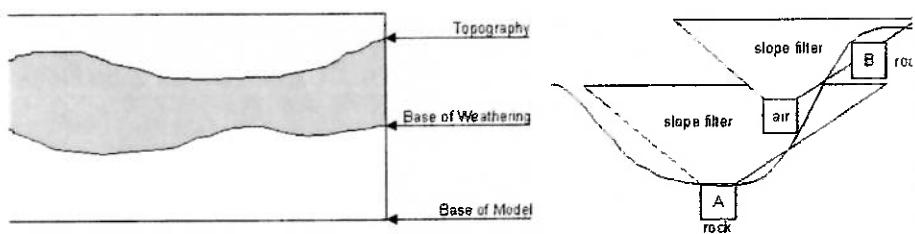


Figura 03 – Determinação de ângulos gerais de talude do modelo geotécnico

os custos fixos e variáveis possam ser determinados, o cálculo de seu benefício é complexo, contando que o calcário é uma matéria-prima de baixo custo na fabricação do cimento. Além disso, muitas vezes o estéril da mina é constituído de materiais argilosos que, blendados, podem em parte ser utilizados como minério em algumas circunstâncias. Isso associa a esse material argiloso uma natureza mutante, porque de acordo com a alimentação e período, pode ser tratado como minério ou estéril.

REQUERIMENTOS E PROCEDIMENTOS

Os procedimentos e requerimentos necessários à execução das etapas de otimização de cava e seqüenciamento de lavra em minas de calcário para cimento, serão listados a seguir.

REQUERIMENTOS

- 1) Modelo geológico, compreendendo as litologias e as distribuições de teores das principais variáveis químicas no processo de fabricação do cimento;
- 2) Modelo tecnológico, que vai representar os parâmetros operacionais da fábrica e os conhecimentos do processo, em relação à jazida de calcário;
- 3) Modelo geotécnico, denotando a setorização da mina e determinando os ângulos de taludes associados;
- 4) Objetivos de produção.

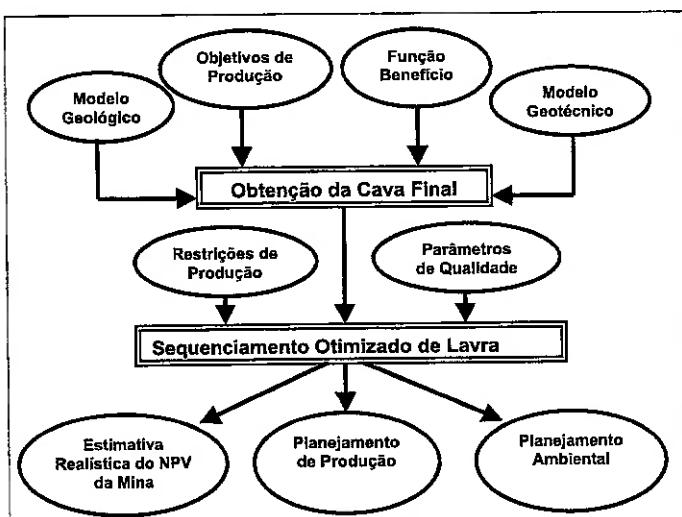


Figura 04: Etapas de otimização e seqüenciamento de lavra

PROCEDIMENTOS

1) Estatística das variáveis presentes no modelo geológico, de modo a estudar o comportamento e inter-relacionamento destas.

2) Parametrização das reservas, de modo a maximizar os recursos geológicos disponíveis, atendendo aos requerimentos da planta.

3) Simulação nas isofaiixas, classificando o material (recursos geológicos) de acordo com faixas preestabelecidas dos atributos.

4) Cálculo da folga em função dos principais parâmetros do processo, como fator de saturação de cálcio (FSC), módulo de sílica (MS), módulo de alumínio (MA), etc.

- 5) Criação do modelo econômico, que introduzirá valores monetários em cada bloco. Deverá compreender diversos fatores como: receita(s) gera-

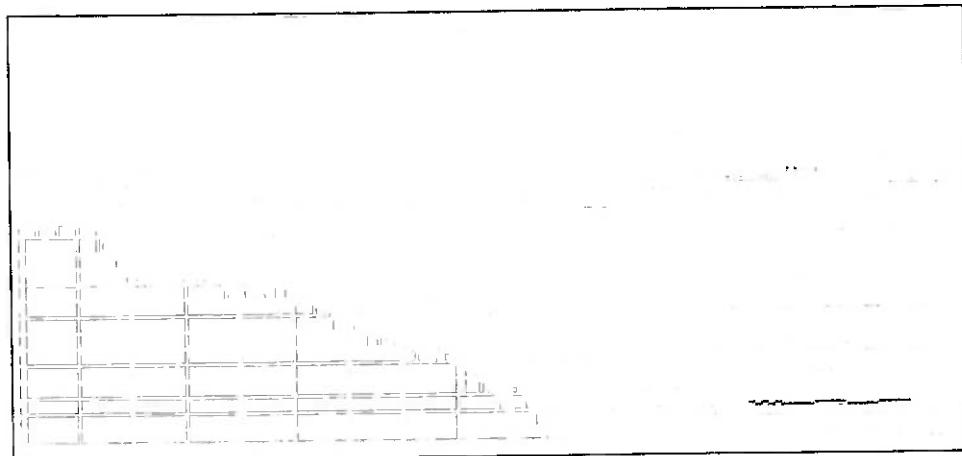
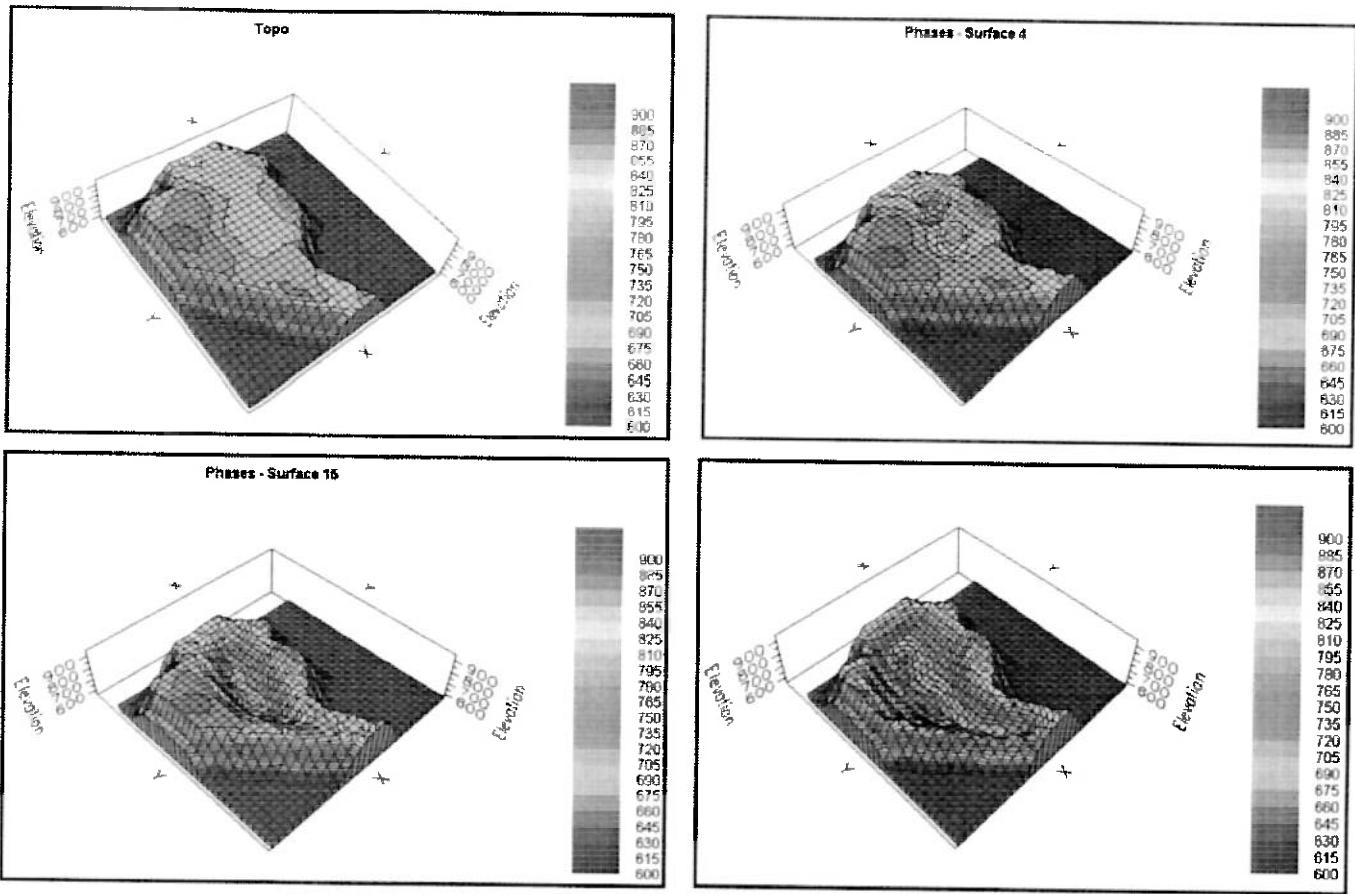


Figura 05 – Perfil com os diversos tipos litológicos



Figuras 06 a 09 – Fase final da mina

- da(s) com a comercialização do(s) produto(s) final(is); custos de extração, transporte e processamento do(s) produto(s) em questão; fatores de recuperação e diluição de lavra e processo; etc.
- 6) Modelo geotécnico que atenda a requerimentos estritamente necessários de segurança da operação da mina, buscando a maximização dos recursos geológicos disponíveis.
- 7) Otimização da cava, definindo um contorno ótimo da cava final, através do algoritmo de Lerchs&Grossmann, que maximize o valor total do *pit* e atenda aos requerimentos da planta.
- 8) Seqüenciamento de lavra a partir dos blocos inclusos no contorno do *pit* final otimizado, sujeito às restrições de produção e parâmetros de qualidade da planta.
- 9) Operacionalização da cava, com a criação de bermas e acessos.

- 10) Avaliação dos resultados com possibilidade de refinamento destes, a partir de novas otimizações.
- 11) Planejamento de produção a curto prazo, depois de este ter sido bem definido para médio e longo prazos.

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso descrito a seguir apresenta, de modo sintetizado, um trabalho realizado numa mina de calcário para cimento, com a finalidade de seqüenciar a lavra dos blocos otimizados, buscando a maximização da reserva, facilitada pela grande flexibilidade do processo de fabricação do cimento, o que permite, graças aos sistemas de controle da composição das matérias-primas, o uso de materiais com especificações em faixas muito amplas. Ou seja, há um caráter de ambivalência entre minério e estéril inerente aos blocos, o que lhes impossibilita, *a priori*, rótulos, não lhes sendo pos-

sível definir um destino automático, pois sempre existe a possibilidade de blendá-los e, assim, assegurar as especificações requeridas em planta, para que esse novo material possa ser processado e transformado em cimento, rendendo um benefício positivo.

O modelo de blocos utilizado conta com valores *krigados* para CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃ e alguns tipos litológicos. A figura 05 apresenta uma seção W/E com os diversos tipos litológicos.

Foram levantados dados econômicos para o cálculo da função benefício e técnicos para o cálculo do NPV, como: custos de mineração, diferenciados por tipo litológico; custos de processamento; produção anual de minério; preço do produto final; recuperações na lavra e no processo; ângulos médios gerais de talude, para solo e rocha; largura de berma mínima operacional e taxa anual de desconto. Essas informações, incorporadas ao modelo

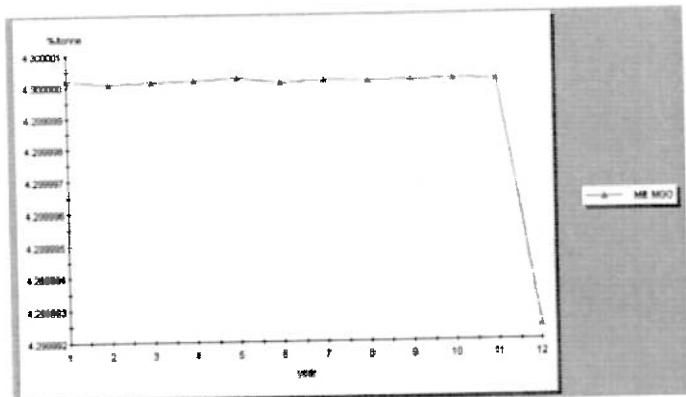


Figura 10 - Seqüenciamento de lavra sem pilha de estoque para material blendado

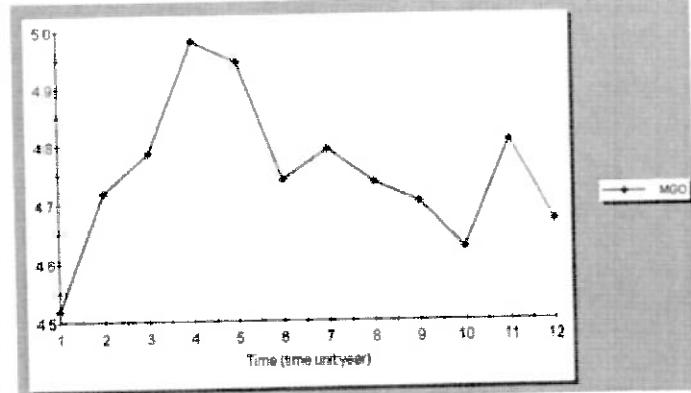


Figura 11 - Seqüenciamento de lavra com pilha de estoque para material blendado

geológico, foram ingressadas e processadas em software específico para otimização de cava e seqüenciamento de lavra. Tal software, utiliza o método de Lerchs&Grossmann para a geração da cava ótima e um conjunto de cavas intermediárias, buscando o melhor NPV (valor presente líquido) e usando esse conjunto de cavas intermediárias para criar os avanços operacionais (*pushbacks*), que direcionam a pesquisa da seqüência de lavra para atender aos objetivos de produção (tonelagem, teores, relação estéril/minério, etc.), utilizando ferramentas de programação dinâmica.

As figuras 06, 07, 08 e 09 apresentam a topografia inicial da mina e diversas fases de lavra no transcorrer do seu seqüenciamento.

As figuras 10 e 11 apresentam resultados de seqüenciamento de lavra no qual o material blendado deve apresentar teores de MgO entre 4 e 5%, idealmente próximos do valor 4,3%, com o intuito de melhor aproveitar a reserva geológica. São apresentadas duas situações no seqüenciamento: sem utilizar pilha de estoque e utilizando pilha de estoque.

Pode-se observar que, durante o seqüenciamento nos 12 anos da mina, o teor médio de MgO do material blendado oscila entre 4,52 e 4,95%, ou seja, o algoritmo de programação dinâmica não consegue resolver para o valor ideal de 4,3% e relaxa a busca, culminando com a oscilação.

Podemos observar que, utilizando pilha de estoque ocorre maior flexibilidade na blendagem do material, proporcionando

nando ao algoritmo de programação dinâmica do software encontrar um seqüenciamento de lavra com um objetivo puntual do teor médio de MgO, ocasionando um máximo aproveitamento dos blocos otimizados.

CONCLUSÕES

O atual estágio de desenvolvimento nos trabalhos de otimização e seqüenciamento de lavra para minas de calcário para cimento apresentou, até o momento, resultados significativamente encorajadores; no entanto, ainda não está bem definida a relação entre a utilização de pilha de estoque e o seqüenciamento de lavra de matérias-primas do cimento, orientado pelas restrições impostas

pela planta, o que deverá advir da continuidade do projeto. Existem, também, alguns possíveis caminhos a serem examinados: otimização automática do teor de corte, adequado para cada tipo litológico e parâmetros de controle; análise de sensibilidade nos preços; utilização de um sistema híbrido de blendagem e otimização iterativa; etc.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FAPESP no desenvolvimento do presente projeto de pesquisa e também as contribuições do engenheiro Cláudio Faria (Cimento Votoran) e dos geólogos Silvio Saad (Grupo Votorantim) e Alexandre Passos (Cimento Itaú).

Referências bibliográficas

- Valêncio, N. **Estudos projetam mais 140% no consumo per capita de cimento entre 1994 a 2000.** Revista Minérios & Minerais, nº 213. Editora EMEP, 1996.
- Esteban, F.S. **Voltando a registrar recordes de consumo.** Revista Brasil Mineral, nº 145. Editora Signus, 1996.
- Nascimento, M.A.P. **Blending de argila e calcário para fabricação de cimento. Uma proposta de solução com geomath.** Anais do V Workshop DATAMINE, 1997.
- Staples, M.W. **Evaluation of MAXIPIT pit optimisation software.** Earthworks Corporation. Perth, Austrália, 1998.
- De Tomi, G. **Planejamento de lavra a curto prazo: caso-estudo.** Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP, 1997.
- Chausson, D. e De Tomi, G. **Seqüenciamento de produção usando otimização e blendagem.** Anais do IV Workshop DATAMINE, 1996.
- Oliveira, S. **Requerimentos de blendagem na Itapessoca agro-industrial.** Anais do IV Workshop DATAMINE, 1996.
- Tolwinski B. **Scheduling production for open pit mines.** Proceedings of APCOM. Londres, Inglaterra, 1998.
- Thomas, G.S. **Optimisation of mine production scheduling: the state of the art.** CSIRO Exploration and Mining, Australia, 1998.

Minérios & Minerales

M&M
EDIÇÃO
246
MARÇO - 20
ANO 19
R\$ 8,00
TURMA
UNIVERSITÁRIA

OTIMIZAÇÃO DE PLANEJAMENTO DE LAVRA EM MINA DE CALCÁRIO

EXCLUSIVO

CANADÁ

PDAC e Mining Millennium 2000
reúnem a mineração mundial

Missão brasileira
avalia negócios potenciais
em Quebec

De Tomi