

Sessão - dia 02/08/1976

Comp. - Minas - Plan.

RESUMO:

A comp...
pela neces...
de apatita e...
desenvolvimen...
sul no exame

**MODELO COMPUTACIONAL PARA ENSAIOS DE LAVRA NA
JAZIDA DE JACUPIRANGA**

relativos à ge...
de blocos.

Procur...
simulação em...
pequeno por...

Utiliz...
lavra por ex...
por sua rec...
contínuas co...
informaçõe...

Expositor:
Prof. Hélio Camargo Mendes
EPUSP

Coordenador
Dr. Carlos Diniz da Gama
EPUSP/DMGA-IPT

RESUMO:

A complexidade do planejamento de lavra no carbonatito de Jacupiranga, pela necessidade de atender simultaneamente à demanda de concentrados de apatita e matéria prima para fabricação de cimento, já havia justificado o desenvolvimento de um sistema automático de simulação. O sistema revelou-se útil no exame de alternativas técnicas de desmonte, porém falho na previsão de sua seqüência a médio e curto prazos, devido à não inclusão de dados relativos à geologia do depósito e pela imposição de regras rígidas de seleção de blocos.

Procurando superar tais falhas, desenvolvemos um modelo baseado em simulação conversacional, constituído por um programa para computador de pequeno porte e um sistema automático de avaliação de reservas.

Utilizando-se o programa conversacional é possível otimizar o plano de lavra por ensaios sucessivos em um modelo matemático da jazida. Este modelo por sua vez, é atualizável pelo sistema de avaliação de reservas, frente às contínuas modificações topográficas no depósito real decorrentes da lavra e às informações adicionais sobre geologia e distribuição de teores.

O SR. COORDENADOR — Vamos dar início à segunda parte da nossa sessão desta tarde, quando ouviremos o engenheiro Prof. Helio Camargo Mendes, da Escola Politécnica, dissertando sobre “MODELO COMPUTACIONAL PARA ENSAIOS DE LAVRA NA JAZIDA DE JACUPIRANGA”.

I — INTRODUÇÃO

Vários trabalhos publicados descrevem detalhadamente a jazida de Jacupiranga e o complexo industrial da Serrana S.A. de Mineração (p. ex., Garcia — 1974). Embora sendo desnecessário apresentar informações sobre o depósito e sua exploração, discutiremos os tópicos que interessam à compreensão do modelo desenvolvido.

Em Jacupiranga, é explorado um corpo carbonatítico, constituído de carbonatos de cálcio e magnésio, contendo cerca de 12% de apatita, pequena quantidade de titano-magnetita e outros minerais subordinados. Essa jazida é lavrada para obtenção simultânea de concentrado apatítico, utilizado na fabricação de fertilizantes, e de matéria prima para alimentação de uma planta de cimento portland.

A pesquisa do depósito foi executada por meio de sondagens a diamante, com diferentes inclinações, abertura de galerias e amostragem de superfície. Atualmente dispõe-se, ainda, de informações de pó de perfuratriz, de mapeamento geológico das frentes de lavra e de um programa adicional de sondagens, em execução. Esse acervo de dados possibilita a comprovação de uma reserva de 30 m.t. de minério, com teor médio 5,0 de P_2O_5 e 3,9 de MgO.

Os teores de P_2O_5 podem variar localmente de 3 a 10%, enquanto os de MgO entre 1 a 17%, sem correlação aparente entre os teores dos dois óxidos. Entretanto, a distribuição de MgO no depósito apresenta certa zonalidade, que permite distinguir e mapear duas classes de minério carbonatítico: tipo calcítico, com teor de MgO aceitável para fabricação de cimento e tipo dolomítico, com teor proibitivo para aproveitamento direto, mas em parte assimilável mediante blending com o tipo anterior. Na lavra considera-se como uma terceira classe, o minério de zonas de falha, de cuja utilização em proporções elevadas, resultam rejeitos (na usina de concentração) com teores de P_2O_5 incompatíveis para a fabricação de cimento, além de provocar sérias dificuldades operacionais. A existência de quantidades remanescentes de minério residual, de alto teor em P_2O_5 , tornou econômica a operação de uma usina de pequeno porte, destinada exclusivamente ao aproveitamento dessa última classe de minério. A complexa conjunção desses elementos, aliada à presença de blocos estéreis de jacupiranguito, leva à necessidade de um elevado grau de conhecimento da jazida e de um planejamento rigoroso, a fim de realizar uma lavra racional, econômica e que atenda simultaneamente à demanda de matéria prima para fertilizante e cimento.

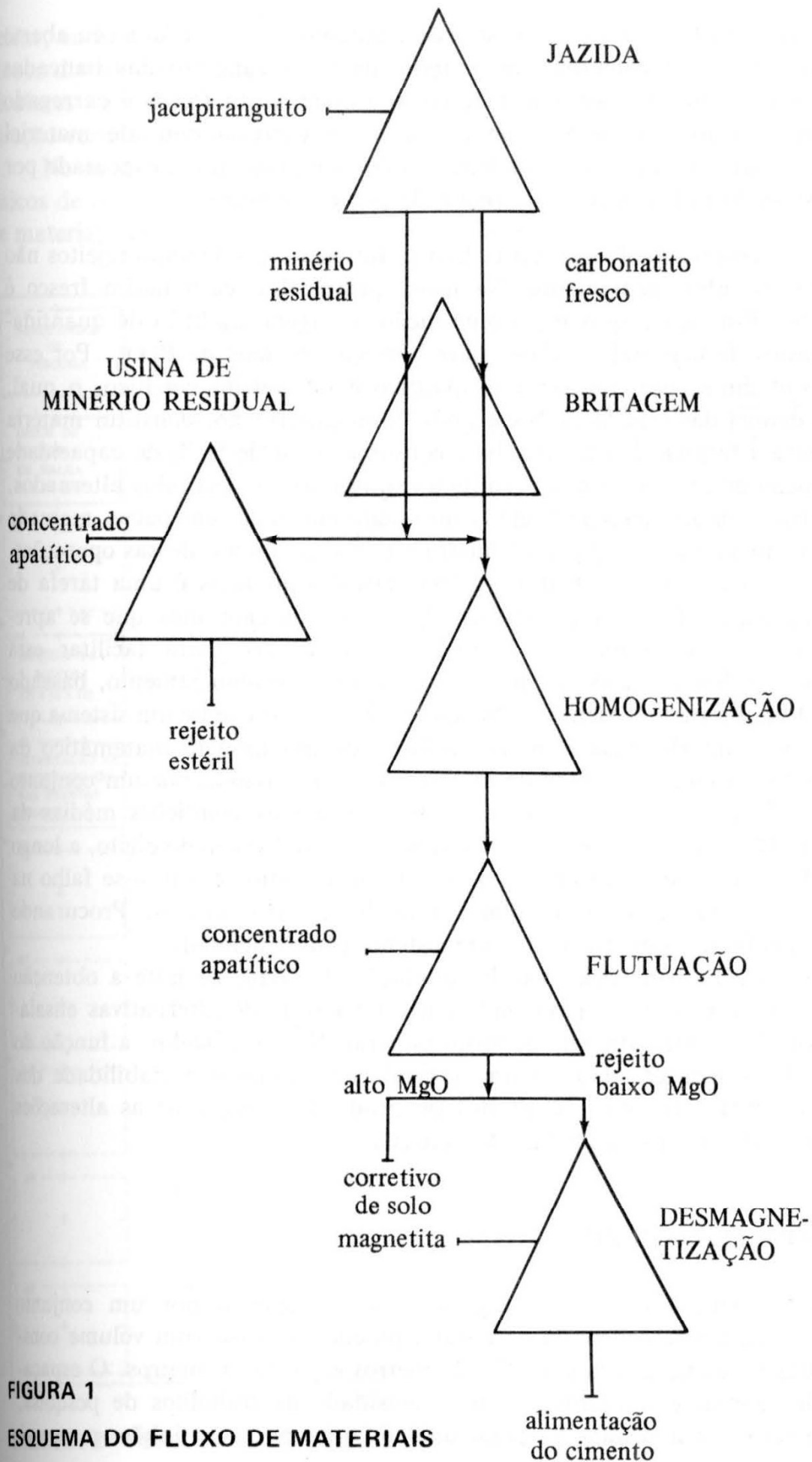


FIGURA 1
ESQUEMA DO FLUXO DE MATERIAIS

A lavra em Jacupiranga consiste essencialmente na extração a céu aberto de 7.000 t/dia de carbonatito, de porções de jacupiranguito das bancadas superiores e de minério residual. Enquanto o carbonatito fresco é carregado por duas escavadeiras elétricas de 3 1/2 j, o carregamento de material residual é realizado por pá carregadeira e o de jacupiranguito é executado por terceiros; sendo todo o transporte realizado por caminhões.

O minério residual é concentrado por flutuação, produzindo rejeitos não aproveitáveis subseqüentemente. Na usina principal o carbonatito fresco é tratado por flutuação, após homogeneização, moagem e adição de quantidades variáveis de material residual, para correção de teor de P_2O_5 . Por esse processo obtém-se um concentrado apatítico e um rejeito calcítico, o qual, quando dentro das especificações e após desmagnetização, constitui matéria prima para a fábrica de cimento. Esta consome cerca de 50% da capacidade de produção de rejeitos, o que permite a exploração, em períodos alternados, de material com alto teor de MgO, cujo rejeito encontra, em parte, mercado como corretivo de solo. A figura 1 ilustra o concatenamento dessas operações.

Planejar a lavra de Jacupiranga por cálculos manuais é uma tarefa de difícil realização, frente à quantidade de opções de caminhos que se apresentam e ao elevado número de variáveis envolvidas. Para facilitar esta operação, foi desenvolvido um modelo automático de planejamento, baseado em uso de computador (Mendes e Melcher, 1974). Trata-se de um sistema que executa, sem interferência humana, a lavra de um modelo matemático da jazida, sendo a escalação do material para desmonte regida por um conjunto de regras rígidas, com as quais pretende-se imitar as condições médias da lavra real. O uso deste modelo revelou-se útil na visualização do efeito, a longo prazo, da adoção de certas opções de lavra. No entanto, mostrou-se falho na previsão de seqüências de desmonte a médio e curto prazos. Procurando superar tais falhas, desenvolvemos um sistema conversacional.

Um sistema conversacional de simulação de lavra, permite a obtenção do plano de lavra ótimo, selecionado entre uma série de alternativas ensaiadas em modelo matemático do depósito mineral. Nesses modelos, a função do computador é fornecer dados para as escalações, analisar a viabilidade dos passos de lavra, prever os resultados de produção e registrar as alterações decorrentes da retirada simbólica de material.

II — MODELO DA JAZIDA

No sistema desenvolvido, representa-se o depósito por um conjunto tridimensionalmente ordenado de paralelepípedos (blocos) com volume constante, dimensões horizontais de 25×25 metros e altura 10 metros. O espaçamento horizontal é compatível com a densidade de trabalhos de pesquisa, além de respeitar a distância operacional mínima para caminhões e escava-

deiras, enquanto a altura corresponde à das bancadas de lavra. Em planta os blocos distribuem-se segundo um sistema de coordenadas paralelas e perpendiculares ao eixo principal da jazida, identificadas por números e letras. Na direção vertical posicionam-se em concordância com as bancadas de lavra.

No modelo matemático da jazida, a cada bloco são atribuídos valores únicos de teor de P_2O_5 e MgO . Os blocos são ainda caracterizados pelo tipo de material predominante em seu volume, determinado pelos dados de geolo-

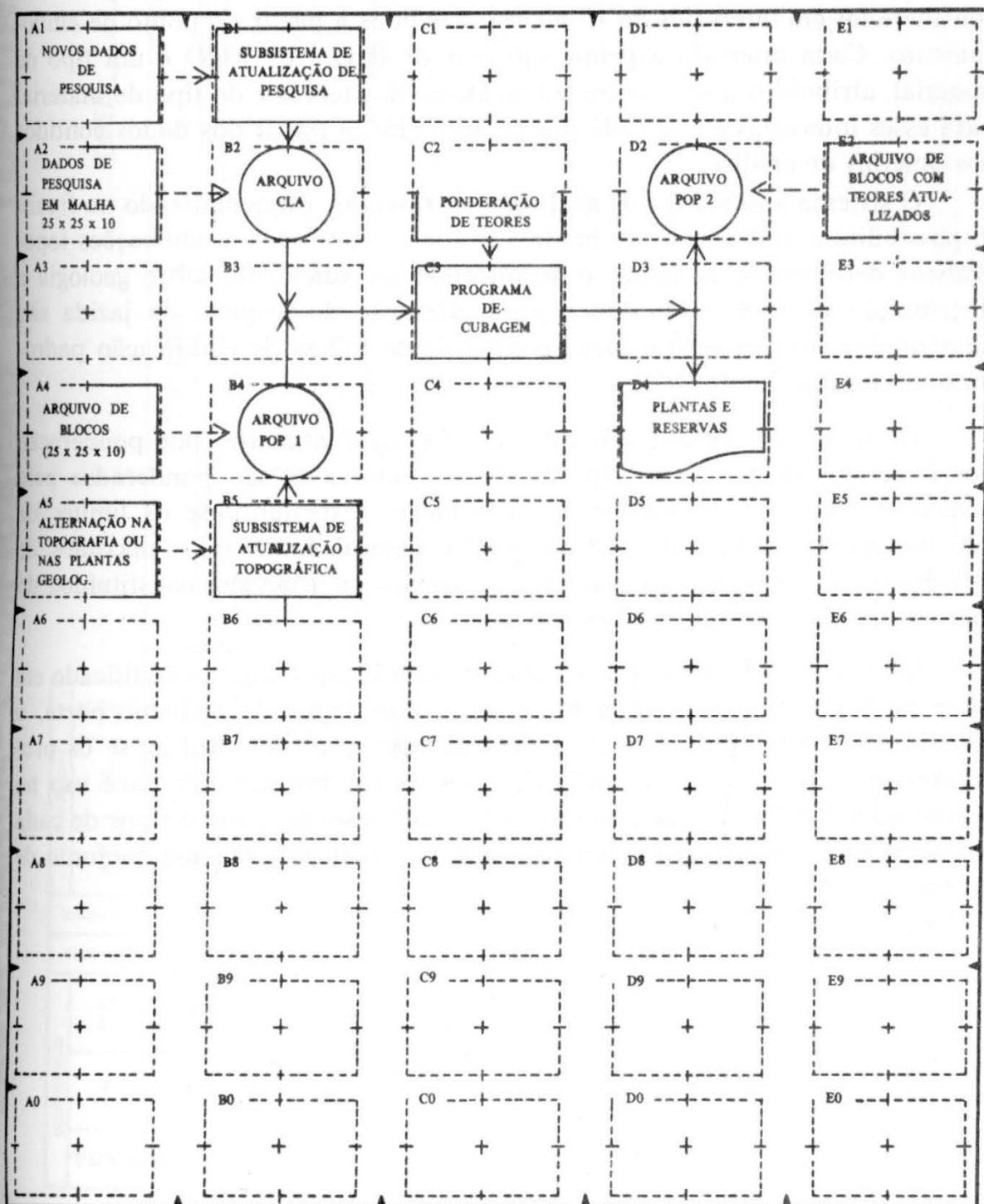


FIGURA 2 — Sistema de atualização de reservas.

gia e enquadrado nos tipos: calcítico, dolomítico, de zona de falha e jacupiranguítico, tipos 1, 2, 3 e 4 respectivamente. A caracterização a priori de blocos de minério residual é praticamente impossível, dada sua concentração em bolsões encaixados na topografia irregular do carbonatito fresco. Entretanto, algumas aproximações, baseadas na observação do avanço das frentes de lavra, podem ser feitas e utilizadas na escalação de material para desmonte, para efeito de planejamento de médio e curtos prazos.

Para manter a coerência do modelo, os trabalhos de pesquisa são considerados em intervalos de 10 metros, medidos a partir do ponto de embocamento. Cada intervalo exprime um teor de P_2O_5 , de MgO e um tipo de material, atribuídos a seu centro. O recálculo dos teores e do tipo de material para esses intervalos é realizado por computador, a partir dos dados contidos nos boletins de análise.

O sistema automático de avaliação de reservas, esquematizado na figura 2, possibilita a atualização do modelo frente às contínuas modificações topográficas decorrentes da lavra, e às informações adicionais sobre geologia e distribuição de teores. Os dados para alteração do arquivo da jazida são alimentados em cartões, perfurados a partir de folhas de codificação padronizadas (figuras 3 e 4).

Os teores dos blocos são calculados individualmente, por ponderação dos intervalos de pesquisa. No cálculo, os intervalos são ponderados pelo inverso da distância ao centro de cada bloco, respeitando-se os limites de 100 metros na horizontal e 10 metros na vertical como raios máximos de influência. Nessa estimativa considera-se apenas os intervalos constituídos do mesmo tipo de material do bloco em questão.

O programa de simulação idealizado para Jacupiranga foi codificado em Basic para processamento "on line", em computador de pequeno porte, o HP 2116-B. Entretanto, para facilidade de operação, desenvolveu-se os programas do sistema de atualização de reservas em Fortran IV, para uso no computador B.6700. A gravação das informações sobre teores e tipos de cada bloco, na unidade de disco magnético do HP, é realizada por um conjunto de rotinas especiais.

JACUPIRANGA - BOLETIM DE ANÁLISE

TIPO DE TRABALHO: _____
LOCAL DE ANÁLISE: _____
DATA ENVIO _____

TIPO DE ANÁLISE: _____
OBSERVAÇÕES

TRABALHO DE PESQUISA		COORDENADAS DE EMBOCAM/O										AZI-MUTEROS		TIPO DE	
IDENTIFICACAO	PA	PE	COTA		Easting		Northing		MUTEROS		TIPO DE				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
INTERVALO TEORES															
	DE (m)	A (m)	P ₂ O ₅		MgO										
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	J/A/P/E		

OBSERVAÇÕES

FIGURA 4 – Folha padronizada para codificação de dados de topografia.

III — MODELO CONVERSACIONAL

No Modelo Conversacional são ensaiadas, mediante uso de terminal remoto, seqüências de desmonte de material pela escalação e sucessiva lavra de blocos do arquivo da jazida, gravado em disco magnético. Os ensaios são realizados pela programação de retirada de blocos, em períodos de tempo fixos (1 mês, 2 meses, etc...), para atender à demanda de três fluxos de material (*máquinas 1, 2 e 3*); das quais dois simulam a operação das duas escavadeiras elétricas em carbonatito fresco, enquanto a terceira considera a retirada de jacupirangnito e a lavra de minério residual. Organiza-se o programa de desmonte de um período pela escalação sucessiva de blocos, até ser atingido o volume de produção previsto, quando fecha-se o período promovendo-se uma operação simbólica de lavra. A lavra simbólica consiste essencialmente da transferência, para um arquivo de produção, das coordenadas dos blocos escalados para as três máquinas, que passam então a ser considerados vazios.

A alternância de conjuntos escalação/lavra, em períodos consecutivos, simula a passagem de tempo. Cada período é identificado por um número de seqüência que o ordena cronologicamente e permite interrupções na simulação e modificações de seqüências de blocos programadas anteriormente. Essa alteração de seqüências realizadas em períodos anteriores é executada por um mecanismo de retorno no tempo.

Na escalação examina-se a viabilidade da lavra de todos os blocos. Considera-se viável a retirada de um bloco se este é acessível às escavadeiras e se sua remoção não compromete a manutenção do talude de operação, com bermas de largura mínima de 25 metros. Entretanto, para a preparação de novas bancadas em cava e a construção de taludes finais (com bermas de largura inferior a 25 metros), o modelo possibilita a lavra forçada de blocos não periféricos ou distanciados de menos de 25 metros da crista da bancada imediatamente superior (blocos *trancados*).

Na elaboração do modelo, como recurso de apoio à escalação, admitiu-se o conhecimento prévio de informações sobre teores, tipo de minério e viabilidade da lavra de cada bloco da jazida. Esses dados são fornecidos pelo programa de simulação de três maneiras diferentes:

1. Plantas topográficas codificadas das bancas de lavra, atualizadas automaticamente para cada período de simulação. Em cada planta são indicados, por códigos, os intervalos de teores de P_2O_5 e MgO e a viabilidade da retirada de cada bloco pertencente à respectiva bancada (fig. 8).
2. Análise da viabilidade de remoção de um bloco específico, com impressão dos teores e do tipo de minério.
3. Média dos teores de P_2O_5 e MgO, resultante do "blending" dos blocos já escalados no período, para as máquinas 1 e 2.

Para a organização dos ensaios, no fechamento de cada período é emitido um relatório onde constam as coordenadas dos blocos lavrados e os resultados de produção previstos para o período (fig. 10).

IV — PROGRAMA DE SIMULAÇÃO

O objetivo básico da elaboração do programa conversacional (fig. 6 e 7) foi o desenvolvimento de um esquema de operação simples e facilmente assimilável, mesmo por pessoas leigas em computação. Para tanto, criou-se uma linguagem baseada em instruções tipo palavra-chave (fig. 5), com formato fixo e obedecendo a um código mneumônico. Assim, datilografando-se no terminal a seqüência de caracteres "RT 15", ordena-se o retorno do tempo de simulação para o período de número de seqüência 15.

O processamento de algumas instruções exige o fornecimento de dados adicionais, que são solicitados pelo computador através de perguntas objetivas, que devem ser respondidas para dar continuidade ao processamento. A fig. 8 ilustra uma seqüência típica dos ensaios de simulação, no caso um pedido de plantas parciais: a instrução "PT130" foi datilografada pelo operador, ordenando a impressão de planta da bancada 130. As perguntas: "LINHA INICIAL E FINAL (NÚMERO)?" e "COLUNA INICIAL E FINAL (LETRA)?" foram impressas pelo computador. Suas respostas, datilografadas

INSTRUÇÃO	FORMATO	FINALIDADE	OBSERVAÇÕES
AP	APm	Apagar o último bloco escalado na máquina m.	
BL	BL m, b, c, l ou BL * b, c, l ou BL * * c, l	Fornecer o bloco de coordenadas b, c e l à máquina m.	O caracter "*" indica a admissão de m ou b de instrução BL ou TB anterior.
ES	ES	Escalar o bloco indicado em instrução TB ou BL anterior.	Somente deve ser fornecido após comando TM, TB ou BL.
FC	FC	Fechar o período, promovendo a lavra dos blocos escalados e a impressão dos resultados.	
FM	FM	Finalizar o processamento.	
LG	LG	Imprimir a legenda das plantas.	
PT	PTb	Imprimir a planta atualizada da bancada b.	
RT	RT ns	Fazer o retorno para o início do período de número de seqüência ns.	Pode-se substituir os blocos de um período passado, atribuindo ns como número de seqüência do período atual, ordenando RT ns e fornecendo a escalação desejada.
TM	TM	Imprimir as médias dos teores dos blocos escalados para produção (máquina 1 e 2).	
TB	TB m, b, c, l, o ou TB * b, c, l, o ou TB * * c, l, o	Trocar na máquina m o bloco de ordem o pelo bloco de coordenadas b, c e l.	1) O caracter "*" indica repetição do valor atribuído em instrução TB ou BL anterior. 2) Pode-se remanejar os blocos em uma frente, pelo manuseio adequado das instruções AP e TB.

FIGURA 5 — Instruções — chave do programa de simulação. Os símbolos em letras minúsculas representam:

b = número de bancada;
cel = coordenadas planas (coluna e linha);
m = número de máquina (1 e 2 = minério calcífico, 3 = esteril e minério residual);
ms = número de seqüência dos períodos de lavra;
o = ordem de escalação de blocos

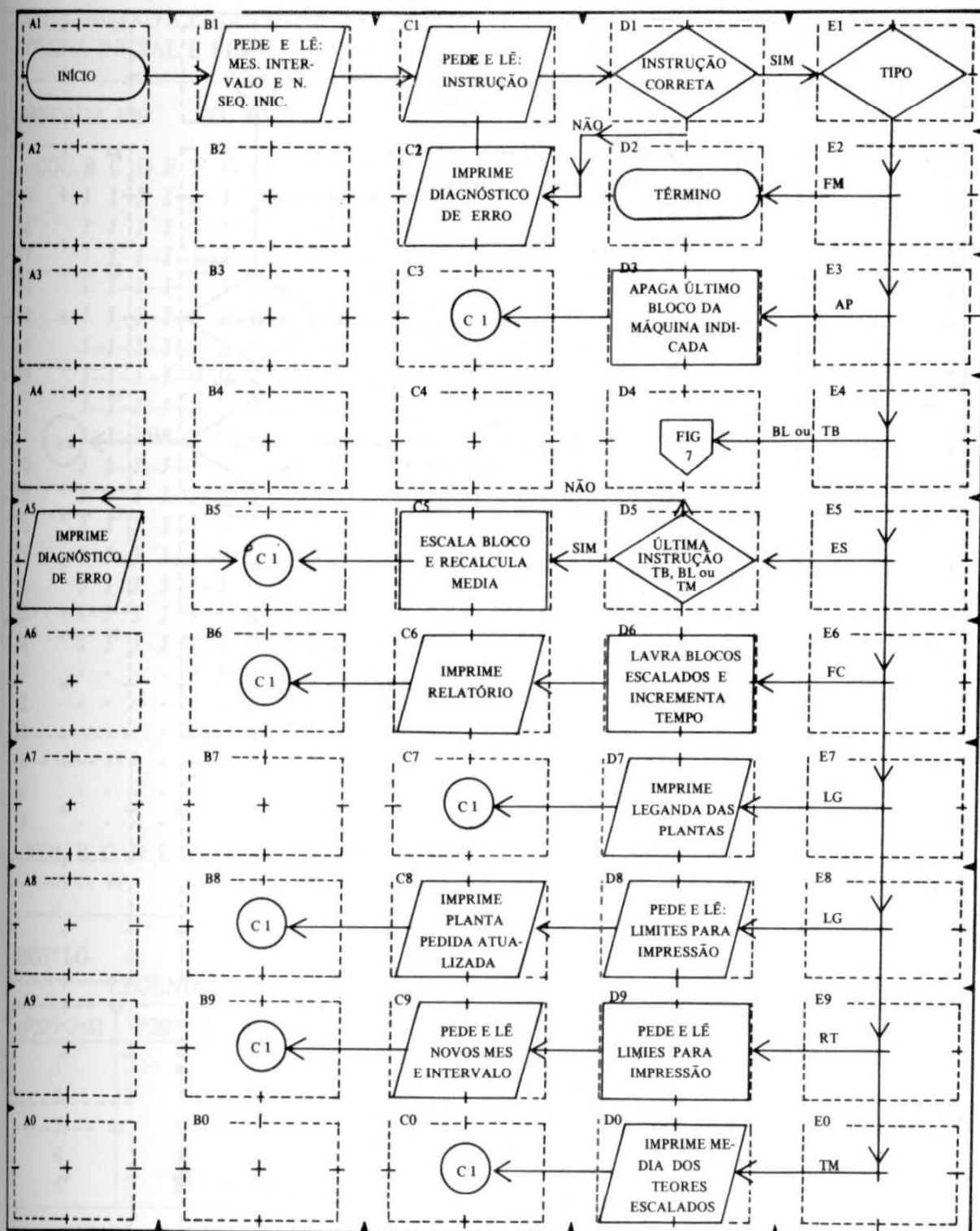


FIGURA 6 — Esquema do programa de simulação conversacional.
Esta figura conecta-se com a de número 7.

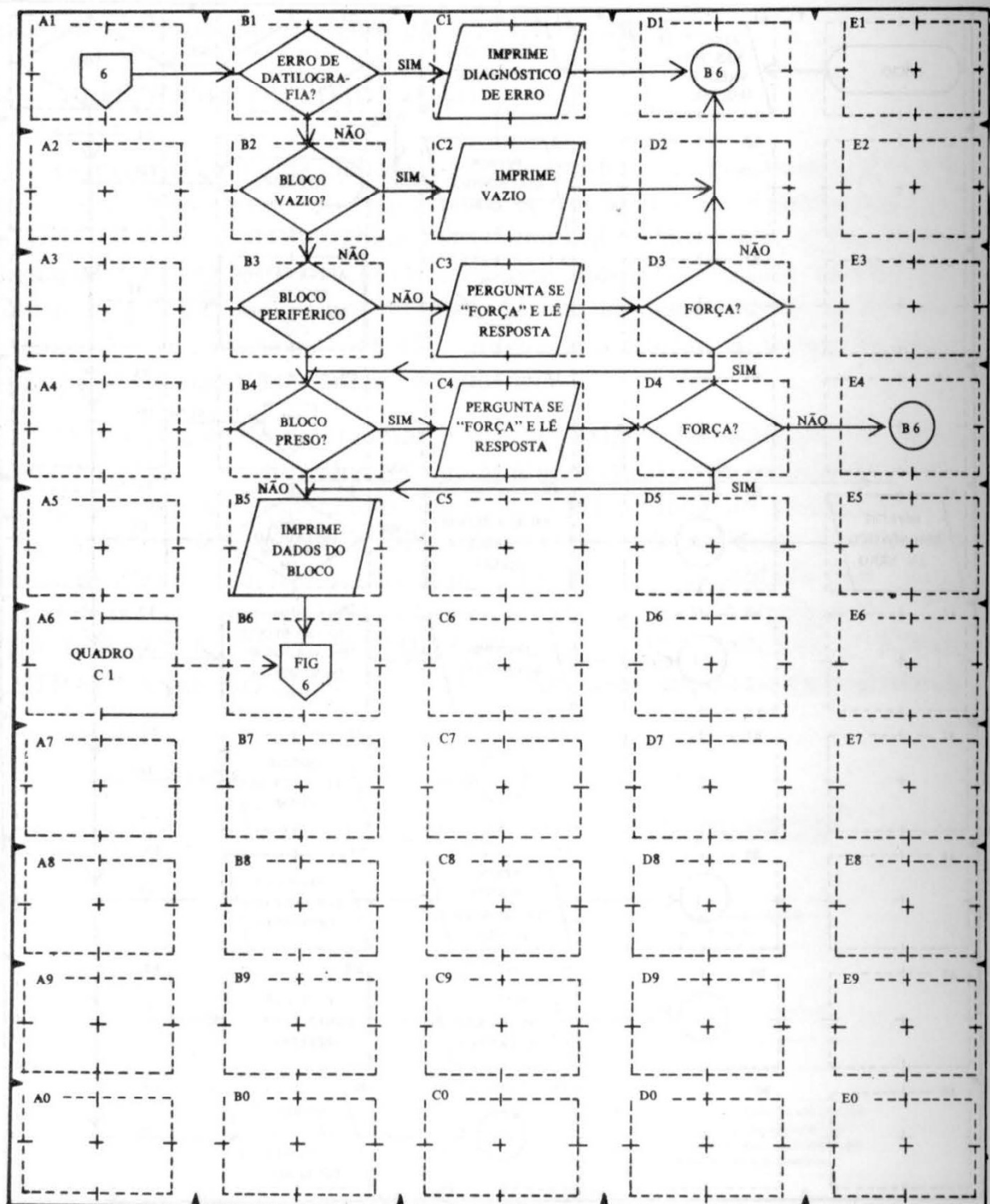


FIGURA 7 — esquema de programa de simulação conversacional.

Esta figura conecta-se com a de número 6.

pele operador, provocaram a impressão da planta simbólica da bancada 130 entre as linhas 18 a 39 e colunas B a N. Seguiram-se a datilografia da instrução "LG" e a impressão da legenda.

MÊS DE INÍCIO, INTERVALO, N., SEQ.? 1,,-1,1
 INST?PT13Ø
 LINHA INICIAL E FINAL (NÚMERO)? 18, 39
 COLUNA INICIAL E FINAL (LETRA)? B, N

BANCADA 13Ø NO MÊS 1 /LINHA

COL	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
39	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	39
38	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	38
37	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	37
36	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	36
35	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	35
34	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	34
33	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	33
32	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	32
31	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	31
30	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	30
29	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	29
28	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	28
27	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	27
26	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	26
25	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	25
24	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	24
23	.	.	.	.	.	B	J	J	J	J	J	J	J	23
22	.	.	.	.	.	.	6	B	8	9	J	J	8	22
21	.	.	.	.	.	.	6	7	.	.	.	8	7	21
20	.	.	.	.	.	.	J	.	.	.	.	.	7	20
19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	19
18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	18

/COL B C D E F G H I J K L M N

INST?LG

LEGENDA:

P205<=3!	P2Ø5>3!	MGO:
1	6	<3%
2	7	3-4
3	8	4-6
4	9	6-8
5	Ø	>8%

? = INDETERMINADO.
 J= JACUPIRANGUITO.
 B= MATERIAL DE BRECHA.
 . = VAZIO.
 -N= BLOCO TRANCADO.

INST?FM

DONE

FIGURA 8 — Exemplo de planta impressa pelo programa de simulação. Fornecendo as linhas e colunas, iniciais e finais, é possível imprimir plantas parciais.

Cada processamento do programa conversacional inicia-se após a especificação da amplitude dos períodos a serem simulados, da data de início e do número de seqüência do primeiro período da simulação. A variável "número de seqüência" ordena os períodos de lavra, enquanto a data de início e a amplitude traduzem essa seqüência em meses. Na operação de fechamento de um período, esses valores são recalculados automaticamente pelo programa, o que determina o início do período consecutivo.

Operacionalmente, os ensaios de lavra resumem-se no fornecimento contínuo de instruções para o computador, que as solicita com a impressão de "INST?". Essas instruções comandam a impressão de informações, a escalação de blocos e coordenam os ensaios.

As instruções PT, BL, TB e TM são responsáveis pela emissão de informações básicas para a escalação de blocos:

PTB — Comanda o "print-out" de planta simbólica da bancada b, atualizada para o período de simulação vigente (fig. 8);

LG — Ordena a impressão de legenda que decodifica os símbolos utilizados nas plantas;

```

INST? BL1,11Ø,J5
P205= 4.9          MGO= 2.5          TIPO= 1          MAQ.ORDEM= 1.Ø1
INST?ES
INST?BL. . I6
P205= 5.6          MGO= 2.3          TIPO= 1          MAQ.ORDEM= 1.Ø2
INST?ES
INST?BL. . G7
P205= 6.1          MGO= 2.1          TIPO= 1          MAQ.ORDEM= 1.Ø3
INST?ES
INST?BL. . G8
NAO PERI, FORCA?SIM
P205= 6.3          MGO= 2.1          TIPO= 1          MAQ.ORDEM= 1.Ø4
INST?ES
INST?BL. . K5
PRESO-FORCA?SIM
P205= 4.9          MGO= 2.6          TIPO= 1          MAQ.ORDEM= 1.Ø5
INST?ES
INST?BL2, 13Ø, P12
P205= 4.2          MGO= 2.2          TIPO= 1          MAQ.ORDEM= 2.Ø1
INST?ES
INST? . . R15
ERRO-INST?BL. . R15
P205= 6            MGO= 1.9          TIPO= 1          MAQ.ORDEM= 2.Ø2
INST? ES,

```

FIGURA 9 — Exemplo de seqüência de instruções para escalação de blocos.

INST?BL3, 13Ø, H2Ø
 P205= 3.8 MGO= 3.2 TIPO= 4 MAQ.ORDEM= 3,Ø1
 INST?B-ES
 INST?BL. . B24
 P205= 99.9 MGO= 9.9 TIPO= 4 MAQ.ORDEM= 3,Ø2
 INST?BL. . C24
 P205= 99.9 MGO= 9.9 TIPO= 4 MAQ.ORDEM= 3,Ø2
 INST?BL. . D24
 P205= 3.7 MGO= 3.7 TIPO= 4 MAQ.ORDEM= 3,Ø2
 INST?ES
 INST?BL. . C24
 P205= 99.9 MGO= 9.9 TIPO= 4 MAQ.ORDEM= 3,Ø3
 INST?ES
 INST?FC

ESCALACAO DO MES 1 N.SEQ.= 1

MAQUINA 1	BLOCOS:		
11Ø J 5	P2Ø5= 4.9	MGO= 2.5	TIPO= 1
11Ø I 6	P2Ø5= 5.6	MGO= 2.3	TIPO= 1
11Ø G 7	P2Ø5= 6.1	MGO= 2.1	TIPO= 1
11Ø G 8	P2Ø5= 6.3	MGO= 2.1	TIPO= 1
11Ø K 5	P2Ø5= 4.9	MGO= 2.6	TIPO= 1
MAQUINA 2	BLOCOS:		
13Ø P 12	P2Ø5= 4.2	MGO= 2.2	TIPO= 1
13Ø R 15	P2Ø5= 6	MGO= 1.9	TIPO= 1
MAQUINA 3	BLOCOS:		
13Ø H 20	P2Ø5= 3.8	MGO= 3.2	TIPO= 4
13Ø D 24	P2Ø5= 3.7	MGO= 3.7	TIPO= 4
13Ø C 24	P2Ø5= 99.9	MGO= 9.9	TIPO= 4

PRODUCAO= 118125. P2Ø5= 5.42857 MGO= 2.24286

INST?RT1
 RETROCEDIDO PARA 0 N.SEQ= 1 MES E INTERVALO? 1, 1
 INST?FM

FIGURA 10 — Exemplo de lista de blocos lavrados.

Simbolicamente, impressa pelo programa de simulação

- BL e TB — Com essas instruções testa-se a viabilidade da retirada de um bloco de coordenadas b, c e 1 (fig. 5). Quando a lavra é viável, o programa fornece os teores, o tipo de minério, o número e a ordem de escalação previstos para o bloco (fig. 9). Caso contrário, é impressa uma das mensagens: bloco já escalado, bloco vazio, bloco não periférico ou bloco trancado, seguida de "FORÇA?". Respondendo-se "SIM" à pergunta, programa-se a lavra forçada do bloco;
- TM — Provoca a impressão da média de teores de P_2O_5 e MgO dos blocos já escalados para as máquinas 1 e 2.

Por meio da instrução ES, o programa realiza a escalação de blocos, organizando-os em 3 conjuntos ordenados (máquinas 1, 2 e 3). ES ordena e escala o bloco b, c e 1, fornecido na instrução BL ("BLm, b, c, 1") imediatamente anterior, no conjunto programado para a máquina m. O uso da instrução TB, seguida de ES, e da instrução AP, permite alterar a ordem e a programação de blocos para o período:

TBm, b, c, 1, o — Possibilita a troca do bloco de número o pelo de coordenadas b, c e 1, na máquina m.

APm — Suprime da escalação o último bloco escalado para a máquina m.

Completada a escalação, fecha-se o período pela instrução FC. Nesta operação promove-se a lavra simbólica dos blocos escalados e a impressão de relatório de produção (fig. 10).

A modificação de seqüência de desmonte já escaladas e lavradas é realizada com o uso da instrução RT, que promove o retorno no tempo, possibilitando a mudança da programação de períodos passados.

O processamento do programa conversacional de simulação da lavra de Jacupiranga é descontinuado pela instrução FM.

V — DISCUSSÃO FINAL E CONCLUSÃO

A elaboração de objetivos claros e precisos e a determinação realista dos meios de atingi-los, são fatores fundamentais para o êxito de um plano. Entretanto, em planejamento de lavra, nem sempre são consideradas as diferenças entre os objetivos envolvidos em planos de curto, médio e longo prazos.

O planejamento de longo prazo tem caráter mais estratégico, exige maior poder de decisão e é menos reversível, por natureza. A implantação de um projeto, por exemplo, obriga a especulações sobre um futuro indeterminado, envolvendo maior responsabilidade na escolha de alternativas, que uma vez assumidas, dificilmente podem ser modificadas em curto espaço de tempo.

A impossibilidade de prever o futuro por outro lado, impede a elaboração de planos detalhados. Na indústria mineira, onde novos projetos tem um longo período de maturação e os prazos para amortização de capital são medidos em unidades de anos, essa limitação torna-se bastante crítica. Assim, um plano de lavra de minério de ferro que fosse elaborado 20 anos atrás, baseado em inferências mercadológicas e que chegasse a um programa de retirada de blocos ou ao traçado de cava final, seria completamente inútil nos dias atuais, pois o próprio conceito de minério de ferro modificou-se; modificou-se em função de muitos fatores que escapariam à análise dos melhores futurólogos, como o desenvolvimento da indústria metalúrgica, o uso dos processos de sinterização e pelletização, etc., possibilitando o aproveitamento dos finos, que há duas décadas eram considerados rejeitos.

O planejamento de médio prazo é mais tático e flexível, caracteriza-se pela fixação de metas a atingir e possibilita o ajuste do processo industrial às flutuações do mercado consumidor. No plano de lavra de médio prazo estabelecem-se seqüências de extração de minério em grandes traços, como a programação da produção anual em períodos mensais. Para o estabelecimento desses planos é necessário um maior conhecimento da jazida e da lavra, exigindo um detalhamento de pesquisa maior que o requerido para simples cubagem e o levantamento de dados históricos da operação de lavra e do aproveitamento subsequente do minério.

O planejamento de curto prazo, caracteriza-se pela formulação dos detalhes operacionais indispensáveis para o prosseguimento da lavra, visando atingir as metas determinadas no plano de médio prazo. Envolve decisões diárias, baseadas no acompanhamento da produção e do avanço das frentes de lavra.

Procuramos ressaltar as diferenças conceituais entre longo, médio e curto prazos na indústria mineira, esses conceitos embora sejam relativos, auxiliam no estabelecimento de sistemas de planejamento. No planejar, o plano não é produto final, mas um estágio intermediário, pois o planejamento é um processo dinâmico de projetar ações futuras e revê-las frente a mudanças do processo produtivo ou alterações no meio ambiente. Esse caráter contínuo, torna necessário a elaboração de sistemas que organizem e estruturam o planejamento em termos de longo, médio e curto prazos.

A natureza dos cálculos envolvidos no planejamento da lavra de jazidas complexas e com grande volume de produção, torna o uso contínuo de recursos exclusivamente manuais desinteressante, frente à alternativa de processamento eletrônico de dados. O uso de computadores permite a realização de planos mais eficientes e de melhor qualidade, posto prescindir das aproximações feitas para tratamento manual, permitir a consideração de um número maior de variáveis e possibilitar a análise comparativa de mais alternativas técnicas. Por outro lado, o tempo e os recursos necessários para a elaboração de um plano por computador são sensivelmente menores, quando comparados aos dispendidos em cálculos manuais.

Representar uma operação de lavra ou uma jazida por meio de equações matemáticas é praticamente impossível. Essa limitação exclui o uso das técnicas convencionais de otimização e impõe o uso de simulação no planejamento de lavra por computador. Na simulação, utiliza-se modelos matemáticos da operação e do depósito, porém estruturados por funções lógicas que permitem ensaiar a lavra real. Quando esses ensaios são executados com interferência humana direta e contínua, realiza-se uma simulação conversacional, caso contrário, uma simulação automática.

Para o planejamento da lavra de Jacupiranga, criou-se um sistema baseado em processamento eletrônico de dados. Como recurso para o planejamento de longo prazo, dispõe-se do modelo automático de simulação, enquanto o uso do modelo conversacional facilita a programação da lavra a médio e curto prazos.

O processamento do programa conversacional no sistema time-sharing do computador HP 21116-B, exige em média, cerca de 20 minutos para simular a lavra de 18 blocos, equivalentes à produção mensal de Jacupiranga. Esse total, engloba datilografia de instruções, escolha de blocos e impressão de plantas e relatório. O tempo necessário para o ensaio de várias alternativas de lavra, limita a utilização do modelo conversacional em planejamentos de longo prazo, mas impõe o seu uso em planejamentos de médio e curto prazos, quando comparado aos métodos manuais tradicionais; no programa de implantação da fábrica de cimento, foram gastos cerca de três meses para planejar a lavra de um triênio, consumidos na elaboração manual de apenas uma alternativa, baseada somente na distribuição de teores de MgO no depósito.

O modelo conversacional, possibilitando a participação direta da equipe de produção nas escalações de frentes de lavra, permite a elaboração de planos adequados às necessidades do empreendimento mineiro. Sua versatilidade e baixo custo operacional, por outro lado, incentivam a revisão periódica desses planos, facilitando a implantação de sistemas de planejamento.

A participação em ensaios de simulação fornece ao encarregado da programação uma visão ampla do depósito e da operação de lavra, que o auxilia na coordenação da produção. Acreditamos que essa característica por si só, já justificou os esforços dispendidos na criação do modelo conversacional de Jacupiranga.

Bibliografia:

Garcia, A.W. — Projeto Minas Brasil (Serrana) — Boletim Geologia e Metalurgia nº 35 — Centro Moraes Rêgo, 1974

Mendes, H.C. e Melcher, G.C. — Planejamento da lavra da jazida de Jacupiranga por computador — Boletim Geologia e Metalurgia nº 36 — Centro Moraes Rêgo, 1975.

DEBATES

O SR. COORDENADOR — Esperamos que os senhores tenham aproveitado deste exemplo brilhante de atividades conversacionais com o computador no sentido de permitir melhor planejamento a curto e a médio prazo para a lavra mineira. Está aberto o período de debates. Solicitaria que apresentassem nome e instituição a que pertencem antes de formularem as perguntas. Obrigado.

PERGUNTA — Sr. Cristiano de Almeida — Ouro Preto.
Como se faz os cálculos de teores médios dos blocos?

RESPOSTA — A estimativa dos teores médios de blocos é realizada pelo método do inverso das distâncias. Basicamente os trabalhos de pesquisa, considerados em intervalos de 10 m, são ponderados em função do inverso da distância ao centro de cada bloco. Porém, esse cálculo é executado em duas etapas: Na primeira etapa, atribui-se teor àqueles blocos cortados por trabalhos; a eles são atribuídos a média dos intervalos contidos em seu interior. Na segunda etapa, realiza-se o cálculo para os blocos restantes. Por facilidade de processamento, os blocos restantes são avaliados em função dos primeiros, que são ponderados pelo inverso da distância ao centro de cada bloco do segundo grupo.

PERGUNTA — Sr. Luiz Carlos dos Santos — Santa Catarina
Em termos percentuais, qual é a relação existente entre os teores programados pelo computador e os realmente constatados na operação de lavra?

RESPOSTA — O desvio entre valores estimados e valores reais depende principalmente da qualidade e quantidade das informações de pesquisa. Em Jacupiranga, considerando-se o total da jazida, verifica-se uma boa concordância. Na parte sul da jazida os desvios, posto dispor-se de maior número de informações, são menores que os da parte norte. A existência desses desvios não prejudica o uso das estimativas no planejamento, uma vez que são, em média, pequenos e são sistematicamente para menos, a favor da segurança. Quantitativamente não posso responder à questão, uma vez não dispor ainda dessas informações (a implantação desse sistema foi realizada no início do presente ano).

APARTE — Eng. José do Vale Nogueira — Serrana de Mineração
Quando o Eng. Helio disse que os desvios são para menos, talvez tenha dado para alguns a impressão de que o sistema computacional empregado gera desvios para menos. O desvio que se observa é o desvio da pesquisa. O sistema computacional oferece informações tão precisas quanto melhor seja a pes-

quisa. Os desvios são para menos devido à recuperação de fosfatos, sabemos que sistematicamente os teores dados pela pesquisa são mais baixos que o real, por mera questão de má recuperação da apatita em relação aos minerais de ganga. Para os teores de P_2O_5 , verificamos que os valores previstos desviam-se dos reais em cerca de 1,5%, que é uma média estatística do nosso desvio real da pesquisa.

Além disso, a precisão varia com a região da jazida. Na área sul da jazida que é melhor pesquisada, temos previsões de teores mais compatíveis com as produções. Atualmente, por exemplo, as pilhas que estamos formando estão exatamente dentro do previsto. Na área norte, onde há problemas maiores de recuperação em sondagens, os desvios são maiores, em função de maior dificuldade da pesquisa.

PERGUNTA — Sr. Kenro Matsui — S/A. Mineração de Amianto—SAMA Com relação à adequação deste sistema implantado, V. Sa., que referiu que o sistema funciona muito melhor para planos a longo prazo. Por que para curto e médio prazos este sistema não é tão adequado?

RESPOSTA — Talvez por falta de clareza na exposição, tenha havido uma pequena confusão. O sistema automático anteriormente desenvolvido apresenta bons resultados para o planejamento de longo prazo. O sistema conversacional, ora apresentado, oferece-se como melhor alternativa para o planejamento de médio e curto prazos, devido à possibilidade de considerar a experiência da equipe de lavra, exemplificando: O conhecimento da jazida leva o técnico que está programando a lavra a um melhor plano e o modelo conversacional permite essa interação computador/homem, que não é possível no modelo automático. Para o planejamento de longo prazo, o modelo conversacional não é indicado pelo tempo que ele requer, por exemplo, o planejamento de 5 ou 10 anos, pode tomar 1 mês para análise de algumas poucas alternativas, enquanto o modelo automático permite o ensaio de muitas alternativas, em tempo muito mais curto, representando um custo menor.

PERGUNTA — Do Sr. Coordenador — Dr. Carlos Diniz da Gama Qual é o critério de escolha de blocos; nomeadamente é dada consideração especial ao valor econômico de cada bloco, ou se é um critério somente por distâncias à frente de trabalho?

RESPOSTA — Basicamente, a seleção de blocos é realizada de maneira a cumprir o programa de produção, visando fornecer à fábrica de cimento as quantidades necessárias de rejeitos, a teores compatíveis, e produzir minério com um teor adequado de P_2O_5 , para realizar a produção prevista. Essa escalção é limitada por fatores geométricos, como a acessibilidade dos blocos.

O DR. CARLOS DINIZ DA GAMA — Então isso significa que, se no caminho do avanço da mineração existirem blocos estéreis com teor abaixo do teor de corte, eles são deixados no local ou serão removidos por outro sistema?

RESPOSTA — O critério de seleção depende da pessoa que executa o planejamento, que tomará a decisão adequada a cada caso que se apresentar. O modelo desenvolvido possibilita ao técnico prever problemas decorrentes da lavra e ensaiar no modelo da jazida o que ele não poderia ensaiar reversivelmente no depósito mineral.

APARTE — Prof. Geraldo Conrado Melcher

O programa prevê a lavra em conjunto de um número mínimo de blocos. Isto é necessário para a racionalização das operações de desmonte e de carregamento. Além disso, a usina de concentração deve operar durante períodos mínimos adequados produzindo rejeitos calcínicos adequados à fabricação de cimento, alternados com períodos em que os rejeitos são dolomíticos.

O DR. CARLOS DINIZ DA GAMA — Então talvez seja melhor referirmo-nos a conjuntos de blocos cuja opção de escolha é feita previamente, em que o sistema de planejamento é escolhido. Aí, já seria um planejamento a médio prazo. Seria escolhida determinada zona da jazida em prejuízo de outra. Não seriam blocos, mas zonas.

O PROF. MELCHER — Um conjunto de 4, 8, ou mais blocos, não define ainda uma zona da jazida porque são consumidos relativamente depressa. Mas para efeito de cubagem e de cálculos, para efeito de operação do computador, são considerados os blocos individuais, porque as dimensões dos blocos foram escolhidas de modo a definir uma certa reserva de minério, compatível com os trabalhos de pesquisa e com o vulto dos cálculos que o computador pode fazer dentro de um certo tempo. Evidentemente, poderíamos ter escolhido blocos de 50×50 m, ou de 100×100 m, mas isso já não seria mais compatível com as efetivas operações de lavra. O computador faz o cálculo por bloco. Mas a lavra não é feita por bloco, é feita de um conjunto de blocos, caso contrário não seria tecnicamente racional.

O DR. CARLOS DINIZ DA GAMA — A idéia seria contemporizar esse conjunto de blocos a fim de serem objeto de um critério de escolha. Esse conjunto de blocos a que se referiu seria comparado com outros conjuntos em condições de serem extraídos e para assim se aplicar um critério de decisão sobre qual seria o próximo a ser escolhido.

O CONFERENCISTA — A seleção de blocos é feita individualmente, porém o objetivo é formar a produção para um determinado período, o que define um conjunto de blocos. A escolha, a decisão, e a escalação é feita individual-

mente, mas é previsto o agrupamento de blocos quando se realiza a lavra em períodos de tempo consecutivos.

O COORDENADOR — Não havendo mais perguntas, agradecemos a presença em nome do CENTRO MORAES REGO e da Comissão Organizadora do VI Simpósio Brasileiro de Mineração. Obrigado.