

POR

R.F.Tárcia, A.F.Sobreiro Neto, F.C.Santana¹

RESUMO -- Desde 1982 a mina de Conceição, em Itabira - M.G., enfrenta problemas decorrentes da interceptação do lençol freático pela escavação. Para se efetuar o rebaixamento do nível d'água optou-se pelo esgotamento a partir de poços tubulares. Em 1983, a THEMAG Engenharia elaborou o estudo preliminar de alternativas para drenagem e desaguamento da Mina de Conceição, incluindo a utilização de poços profundos para o rebaixamento do lençol freático. Posteriormente, a CVRD fez a escolha da opção mais adequada e a otimização da mesma através de cálculo em computador, programa elaborado por Caporali (1985).

O objetivo principal deste trabalho é o de comparar os rebaixamentos teóricos projetados com os rebaixamentos realizados após o início de operação dos poços da bateria.

INTRODUÇÃO

As minas da CVRD no Distrito Ferrífero de Itabira vêm apresentando sérios problemas devido à necessidade de esgotamento das águas subterrâneas, que além de desestabilizar os taludes na mina, impossibilitam as atividades normais de operação dos equipamentos pesados de escavação.

Esse trabalho representa anos de atividades, desde a perfuração do poço-piloto para o primeiro estudo efetuado na formação ferrífera com vistas a resolução do problema causado pelo acúmulo da água subterrânea nos pisos inferiores da mina. Assim, os dados já coletados representam um grande passo no estabelecimento de uma rotina de trabalho para o equacionamento desse problema.

Consideramos que a operação pioneira dessa bateria constitui um dado novo no campo de hidrogeologia no Brasil.

GEOLOGIA

Na área de Itabira as rochas dos Supergrupos Minas e Rio das Velhas configuram um sinclínório em que as principais minas: Cauê, Conceição e Dois Córregos, estão situadas nos sinclinais, com eixo apresentando caimento para leste (Figura 1).

A coluna estratigráfica a seguir resume as principais litologias ocorrentes na área.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SUPER GRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
Minas	Piracicaba	indiviso	quartzito predominando e filito sericítico, alterados.
	Itabira	Cauê	itabirito e hematita nos estados físicos duro, mole e pulverulento.
	Caraça	indiviso	filito alterado, em parte arenoso.
Rio das Velhas	Nova Lima	indiviso	quartzito clorita xisto são ou alterado.

A área onde os trabalhos de desaguamento se desenvolvem está situada na aba sul do sinclinal que constitui a mina de Conceição (Figura 2). Essa região da mina é denominada Corpo "C" e ali se concentra a maior parte das reservas de hematita.

Esse sinclinal tem na base, rochas meta-pelíticas do Grupo Caraça, constituídas essencialmente por filitos sericíticos, com intercalações arenosas. Superpostas ao Grupo Caraça, ocorrem as rochas da Formação Cauê, constituídas por itabiritos e hematitas, recobertas pelas rochas do Grupo Piracicaba, constituídas por quartzitos friáveis amarelo-esbranquiçados, em parte argilosos.

No Corpo "C" ocorrem hematitas, que são classificadas segundo o tipo físico em: dura, mole, pulverulenta e "Blue Dust". As hematitas duras e moles mostram-se xistosas e fraturadas, enquanto a pulverulenta é apenas xistosa e o "Blue Dust" não mostra nenhuma estrutura. A distribuição espacial desses tipos é irregular, não havendo indícios de condicionamento estrutural na conformação dos diversos tipos de hematita, sendo que seus contatos são transicionais.

Os itabiritos estão secundariamente representados na área através de corpos irregulares, espacialmente associados à área de "Blue Dust". Finas camadas de rochas intrusivas estão presentes e pela sua concordância estrutural devem-se tratar de metabásicas (Figura 3).

PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA

Considerações preliminares

O primeiro estudo hidrogeológico na mina de Conceição foi efetuado em 1983, após a perfuração do poço-piloto (PCo R1) e respectivos piezômetros, no piso inferior da mina (cota 954). Os piezômetros foram dispostos em duas linhas segundo as direções paralela e perpendicular à xistosidade. Os resultados foram publicados nos anais do 4º Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia (1984).

O tratamento analítico dos dados foi feito através dos métodos clássicos de Theis e Jacob, utilizando-se o modelo de regime não permanente ou transitório.

Análise dos dados -- Os cálculos obtidos para a transmissividade e coeficiente de armazenamento mostraram uma boa coerência, ocorrendo dois valores distintos de T e S, segundo as duas linhas de piezômetros, confirmando o

¹ Geólogos da Cia. Vale do Rio Doce.

3. modelo anisotrópico de aquífero, com direções preferenciais do fluxo d'água subterrânea.

A linha B de piezômetros (perpendicular à xistosidade) apresentou valores menores de T e S, enquanto se observaram os maiores valores de T e S para a linha paralela à xistosidade. Os valores médios obtidos foram $T_B = 162,5 \text{ m}^2/\text{dia}$ e $S_B = 9.10^{-4}$; $T_A = 342,9 \text{ m}^2/\text{dia}$ e $S_A = 1,67.10^{-2}$. Essa verificação mostra um cone de depressão elíptico, com maior raio de influência na direção da linha B.

A variabilidade encontrada nos valores de T e S, indica a heterogeneidade do maciço, sendo que os diferentes valores desses parâmetros indicam as diferentes condições de confinamento e percolação d'água, relacionados à heterogeneidade litológica do maciço e a intensidade e abertura das descontinuidades presentes.

DEFINIÇÃO DO PROJETO DE REBAIXAMENTO

Foi considerado na proposição de rebaixamento que o maciço é uniformemente heterogêneo, com as características hidrodinâmicas variando vetorialmente entre os limites extremos dados pelas direções A e B.

A partir das constantes hidrodinâmicas calculadas no estudo efetuado no poço-piloto (PCo R1), foi feita uma reavaliação dos dados através de cálculo automático em computador. Foi então dimensionada uma linha base de 150m, com 6 poços espaçados de 30m e vazão total estimada em $560 \text{ m}^3/\text{h}$, de forma que o bombeamento contínuo durante 30 dias rebaixasse 26m a uma distância de 120m, permitindo com isso a liberação de 2 bancos para lavra.

IMPLANTAÇÃO DA BATERIA DE DESAGUAMENTO

Locação de poços e piezômetros

A locação da bateria foi condicionada além da geometria da mina, pela necessidade de interferir o mínimo possível na lavra, bem como para permitir a extração da maior quantidade possível de minério. Assim, ela foi locada e perfurada na cota 946, tão próxima quanto possível à face do banco, ficando aproximadamente paralela à linha A, direção preferencial do fluxo. Para acompanhar o rebaixamento, foram abertos na mesma cota 5 piezômetros, três dos quais (20, 21 e 22), locados a 120m de distância da bateria e os restantes (23 e 24) a 60m, conforme mostrado na Figura 2.

Equipamentos da bateria - Para a operação da bateria foi construído um abrigo em alvenaria para instalação do transformador e do painel de controle das bombas (Foto 1). Em cada poço foi instalado um medidor do nível d'água, um hidrômetro, um manômetro e um registro de gaveta para o isolamento de cada poço quando necessário. A água produzida pelos poços é recalçada para fora da cava, através de uma adutora de 10" (Foto 2).

REAVALIAÇÃO DOS DADOS DE PROJETO ORIGINAL

Considerações preliminares

Após a perfuração dos poços foi efetuada uma série de ensaios, visando a

4. obtenção de novos dados que pudessem ser comparados àqueles resultantes do teste no poço-piloto (PCo R1). Esses novos dados permitiram a definição da capacidade real de produção da bateria bem como uma projeção mais confiável de rebaixamento.

TABELA 1 - RESULTADOS DOS NOVOS ENSAIOS

POÇO BOMBEADO	PIEZÔMETRO CONSIDERADO	MÉTODO			
		JACOB		THEIS	
		T (m^2/dia)	S	T (m^2/dia)	S
PCo - R1	Média linha A	-	-	342,9	1,6.10 ⁻²
	Média linha B	-	-	162,5	9,0.10 ⁻⁴
PCo - R3	PCo - R2	282	7,8.10 ⁻⁴	124	2,2.10 ⁻²
	PCo - R5	304	8,7.10 ⁻⁴	172	2,4.10 ⁻²
PCo - R4	PCo - R5	T1 142/T2 360	3,3.10 ⁻⁴	178	3,3.10 ⁻⁴
	PCo - R6	T1 149/T2 360	1,0.10 ⁻³	289	5,5.10 ⁻⁴
PCo - R5	PCo - R7	207	4,8.10 ⁻⁴	101	3,9.10 ⁻⁴
PCo - R6	PCo - R7	90	2,7.10 ⁻⁴	-	-
PCo - R2	-	136	-	-	-
PCo - R7	-	158	-	-	-

A análise desses resultados mostra uma variação dos valores de T que indica um comportamento heterogêneo do maciço. Ocorrem além disso, para um mesmo piezômetro, diferenças de T em relação ao poço bombeado, refletindo direções preferenciais do fluxo d'água. Da mesma forma as variações de S mostram condições distintas de confinamento da água subterrânea, possivelmente consequência de diferentes densidades e aberturas das descontinuidades presentes ou da diferença do tipo físico do minério.

O rebaixamento nos piezômetros PCo-R5 e PCo-R6, em relação ao bombeamento do PCo-R4 mostra dois valores de T, onde a curva $s \times \log t$ mostra um segundo trecho com menor declividade. Isso evidenciou uma recarga a partir de uma barreira permeável nessa região, que deve dificultar o rebaixamento nessa área, uma vez que reflete a interceptação de zonas mais permeáveis do minério atingidas pela expansão do cone de depressão.

Os ensaios efetuados mostraram ainda uma vazão total bem inferior àquela projetada inicialmente, com os poços da parte central da linha (R4, R5 e R6) apresentando vazão da ordem de 40 a $45 \text{ m}^3/\text{h}$, ao contrário da vazão de $90 \text{ m}^3/\text{h}$ estimada a partir do teste do PCo-R1. Isso é explicado pelo fato que os dados obtidos durante o teste piloto, situado numa área de minério duro fraturado, foram extrapolados para o restante da área, quando na realidade o corpo de minério é heterogêneo.

Rebaixamento projetado a partir de novos dados -- Os novos dados obtidos após a perfuração e teste nos poços da bateria, foram lançados no mesmo programa de computador usado anteriormente para otimização da bateria. A Tabela 2 a seguir mostra os valores de entrada dos dois processamentos, o primeiro obtido do teste do poço-piloto e o segundo obtido dos poços da bateria.

TABELA 2

	Dados teóricos obtidos no teste PCo R1	Dados reais obtidos a partir de testes nos poços após a sua perfuração
Tempo contínuo de bombeamento	30 dias	15 dias
		30 dias
		45 dias
Vazão	560 m ³ /h	360 m ³ /h (6 poços com vazão média de 60 m ³ /h/poço)
Vazão específica Q/s	0,83 m ³ /h/m.	0,88m ³ /h/m (média dos 6 poços)
T	Linha paralela à xistosidade TA = 342,9	TA = TB = 172,8m ² /dia
	Linha perpendicular à xistosidade TB = 162,5	
S	Linha paralela à xistosidade SA = 1,67.10 ⁻²	SA = SB = 0,0094
	Linha perpendicular à xistosidade SB = 9.10 ⁻⁴	

Obs.: os valores de T e S nas duas colunas do quadro se referem à média aritmética dos vários valores obtidos pelo método de Theis. Na 2ª coluna do quadro, TA = TB e SA = SB, devido ao fato de que os poços testados situam-se numa única linha.

A seguir estão discriminados resumidamente na Tabela 3 os valores de rebaixamento resultantes dessa reavaliação, em comparação aos cálculos iniciais obtidos para uma distância de 120m da linha de poços.

TABELA 3 - COMPARAÇÃO DOS REBAIXAMENTOS

Tempo de bombeamento contínuo (dias)	Ítem 1 - Rebaixamentos teóricos obtidos no teste do PCo R1 (m)	Ítem 2 - Rebaixamentos teóricos obtidos nos testes nos poços da bateria (m)
15	-	16
30	29,1	18
45	-	20

Nota-se que seriam necessários mais de 45 dias de bombeamento contínuo da bateria para se atingir o rebaixamento projetado (29,1m) segundo os cálculos iniciais. Conclui-se dessa maneira que houve uma previsão muito otimista de rebaixamento no primeiro estudo, que não considerou a heterogeneidade do minério.

RESULTADOS PRÁTICOS OBTIDOS

Evolução e confrontação do desempenho da bateria

A linha de poços para desaguamento do corpo "C", mostrou um desempenho irregular no início de sua operação (fins de agosto de 1985), devido

6.
fundamentalmente ao mau funcionamento das bombas submersíveis e somente em fins de outubro/85 a bateria passou a ter um desempenho regular. Essa irregularidade durante o bombeamento dificultou a comparação entre os rebaixamentos projetados e os realizados.

Para eliminar tal inconveniente, adotou-se o critério de somar os tempos efetivos de bombeamento equivalentes ao período considerado, cujo rebaixamento real foi comparado ao esperado, como mostra a Tabela 4.

TABELA 4

Rebaixamento projetado X realizado	Piezômetro nº	Bombeamento ininterrupto					
		15 dias	30 dias	45 dias			
		Rebaixamento (m)					
Ítem 1-rebaixamento teórico a partir do teste no PCo R1	média	-	29,1	-			
		-	30,2	-			
Ítem 2-Rebaixamento teórico obtido a partir dos novos testes.	média	16,0	18,0	20,0			
		20,0	22,6	24,2			
Ítem 3-Rebaixamento real obtido após o início de operação da bateria.	20	13,93	9,75	23,38	16,44	27,10	20,26
	21	9,33		13,54		15,38	
	22	6,00	12,41	18,30			
	23	5,71	13,31	14,87			
	24	17,58	11,64	28,22	20,76	32,07	

Obs.: a) Os piezômetros 20, 21 e 22 situam-se a 120m da linha de poços; b) Os piezômetros 23 e 24 situam-se a 60m da linha de poços; c) O nível d'água nos piezômetros, no dia de início da operação da bateria era zero.

A análise da Tabela 4 permite que se façam as seguintes considerações:

- Tomando-se 30 dias de bombeamento como base, nota-se que tanto o rebaixamento real conseguido nesse período, quanto o rebaixamento projetado a partir dos testes dos poços já perfurados, são inferiores à projeção inicial calculada a partir do ensaio do poço-piloto (PCo - R1).
- Esse fato mostra que a quantificação inicial dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, não reflete perfeitamente a realidade do maciço, que se mostra bastante heterogêneo.
- Comparando-se porém os valores dos ítems 2 e 3, nota-se que à medida que aumenta o tempo de bombeamento, os resultados obtidos aproximam-se cada vez mais da projeção teórica. Isso mostra que, com uma substancial melhoria no desempenho da bateria, logrou-se alcançar um rebaixamento médio aproximadamente igual ao teórico com 45 dias de bombeamento.
- Observa-se contudo no ítem 3 que os piezômetros 20 e 24 apresentam um rebaixamento além do projetado. Tais piezômetros situam-se em área de domínio de hematita dura/mole sobre a hematita pulverulenta e "Blue Dust", indicando a diferente resposta dos dois tipos de minério frente ao bombeamento.

CONCLUSÕES

Apesar dos inúmeros problemas apresentados no início de sua operação, a bateria de desaguamento do corpo "C" da mina de Conceição, apresentou excelentes

resultados, coroando de pleno sucesso o projeto de rebaixamento proposto.

O aquífero local, constituído essencialmente pela Formação Ferrífera, mostrou algumas particularidades que surpreenderam pela magnitude de seus resultados frente ao rebaixamento alcançado.

Observou-se na área do Corpo "C" que o rebaixamento é influenciado pela distribuição espacial dos tipos físicos do minério. É notável a maior influência do esgotamento na área onde predominam as hematitas mole e dura (na vizinhança dos piezômetros 20 e 24), onde o rebaixamento verificado superplanteou as expectativas. À medida que se aproxima da área de domínio do "Blue Dust" o rebaixamento é progressivamente menor, fato verificado nos piezômetros 22 e 23. Conforme mostra a Figura 4, temos uma área mais rebaixada ao redor dos piezômetros 20, 24 e 25, enquanto temos uma região menos rebaixada na área próxima aos piezômetros 22, 23 e 26, caracterizando dois compartimentos distintos.

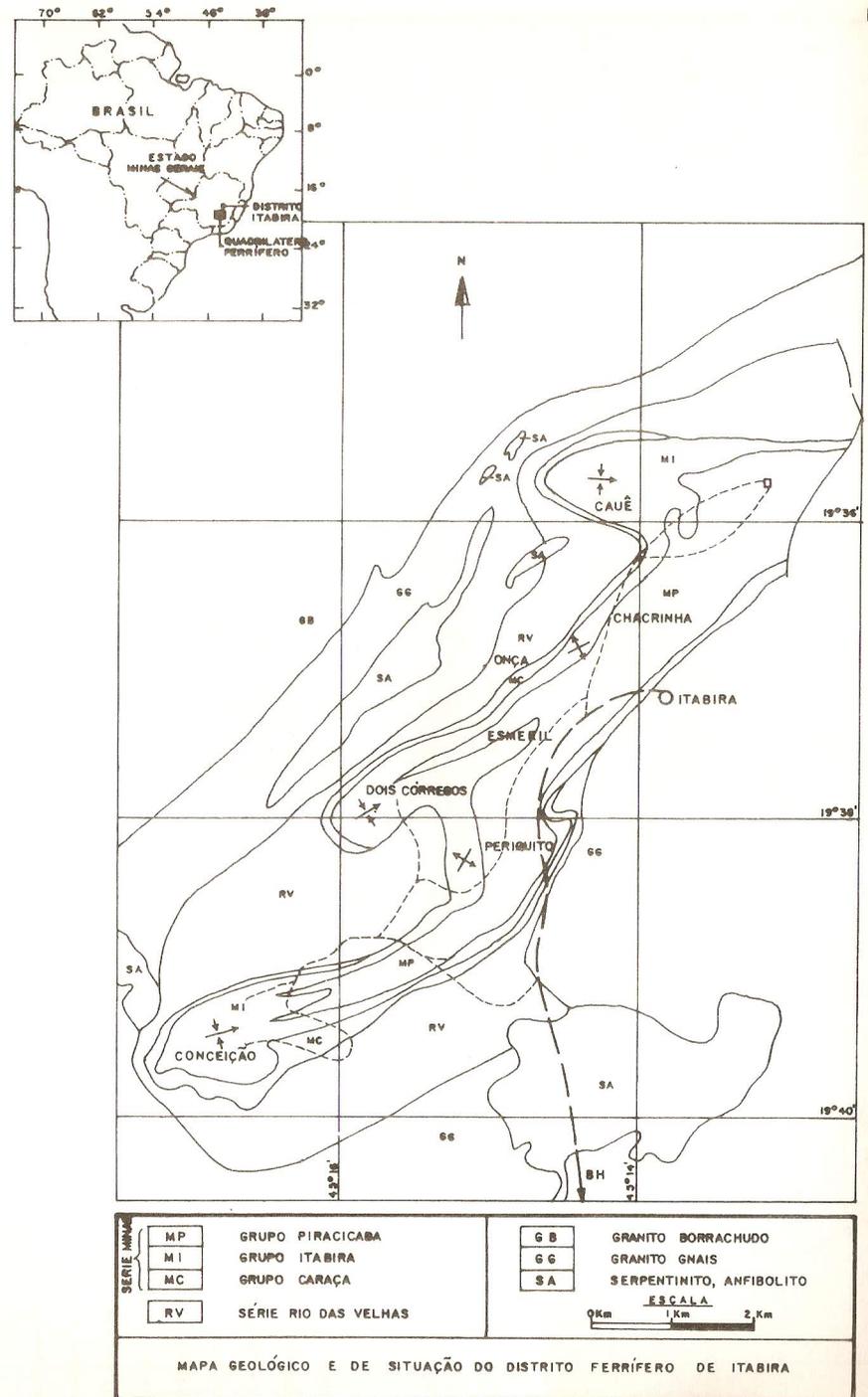
Concluimos então, face aos resultados alcançados, que temos duas unidades aquíferas distintas na área. Uma delas é representada pelas hematitas pulverulentas e "Blue Dust", material granular e homogêneo; a outra é constituída pelas hematitas mole e dura, que apresenta características de aquífero fraturado. O maior rebaixamento verificado nesta unidade mostra que a quantificação inicial dos seus parâmetros hidrodinâmicos efetuada partindo da suposição de meio homogêneo e isotrópico foi superior à real.

Outro fator que deve ter influenciado no maior rebaixamento da área de hematita mole/dura é sua maior proximidade com o substrato impermeável. Supõe-se dessa forma, que o contato próximo ao Grupo Caraça, impermeável, atua como barreira negativa, aumentando o rebaixamento nas imediações dos piezômetros 20 e 24, devido à diminuição do suprimento subterrâneo de água. Ao contrário, a área onde os piezômetros 22 e 24 estão situados fica mais próxima dos itabiritos do Corpo B, área essa que atua hoje como fonte de alimentação subterrânea para o Corpo "C", haja visto o nível d'água verificado naquela área, como mostra a figura 4.

Verificou-se ainda uma diminuição gradativa de vazão nos poços, o que é devido à drenagem contínua do maciço, resultante da interferência mútua dos poços, atuando num sistema aquífero descontínuo e finito. Esse fato sugere que a razão de bombeamento vem superando a capacidade do aquífero de repor essa água, ocorrendo um débito contínuo entre o volume bombeado e a recarga do aquífero.

BIBLIOGRAFIA

CAPORALI, R. - RAMOS, J.M.S. - SILVA, O.G. - Rebaixamento do lençol freático nas minas da CVRD - Revista CVRD, Volume 6, número 20, 1985.
 CUSTÓDIO, E. e LLAMAS - Hidrologia subterrânea - Barcelona - Ediciones Omega, 1983, 2308p.
 FREEZE, R.A. e CHERRY, J.A. - Groundwater - New Jersey, Prentice - Hall Inc., Englewood Cliffs, 1979 - 604 p.
 KARSEMAN, G.P. e RIDDER, N.A. - "Analysis and evaluation of pumping test data". In International For Land Reclamation and Improvement, 1972, boletim 11s. Mine Drainage - First International Mine Drainage Symposium - Denver, 1979 Proceedings.
 RAMOS, J.M.S. - TÁRCIA, R.F. - VENCIO, F.N.C. - "Estudo de drenagem na mina de Conceição, município de Itabira, Estado de Minas Gerais". In Anais do 4º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, B.H., 1984 - volume I.
 VOGWILL, R.I.J. - "Some practical aspects of open pit dewatering at Pine Point" - Alberta Research Council, Canada, CIM, bulletin, 1976.



OBS.: NAS IMEDIAÇÕES DOS POÇOS, O REBAIXAMENTO FOI OMITIDO PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO.

ESCALA GRÁFICA

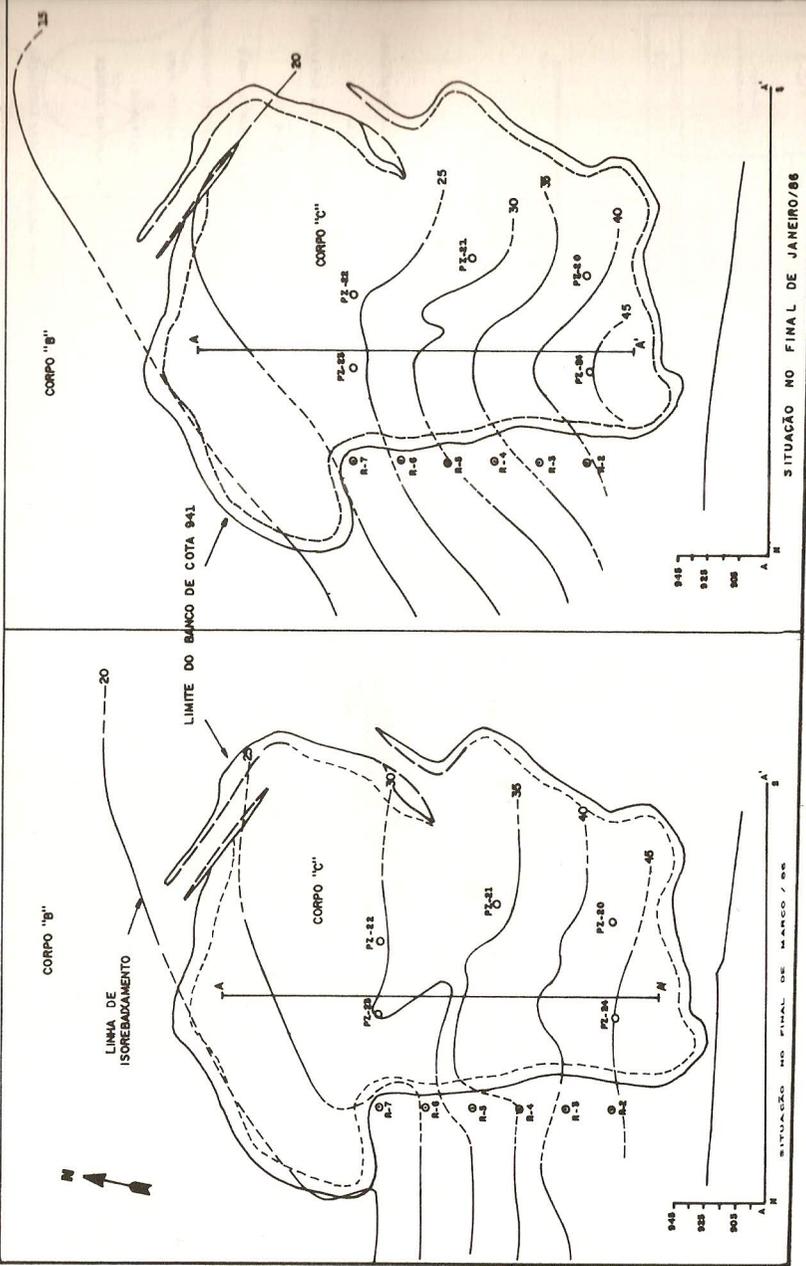


Foto nº 1 - tirada às 8:50 hs. de 24 de agosto de 1985.

Área do Corpo C - Mina de Conceição, banco de cota 946 completamente alagada.

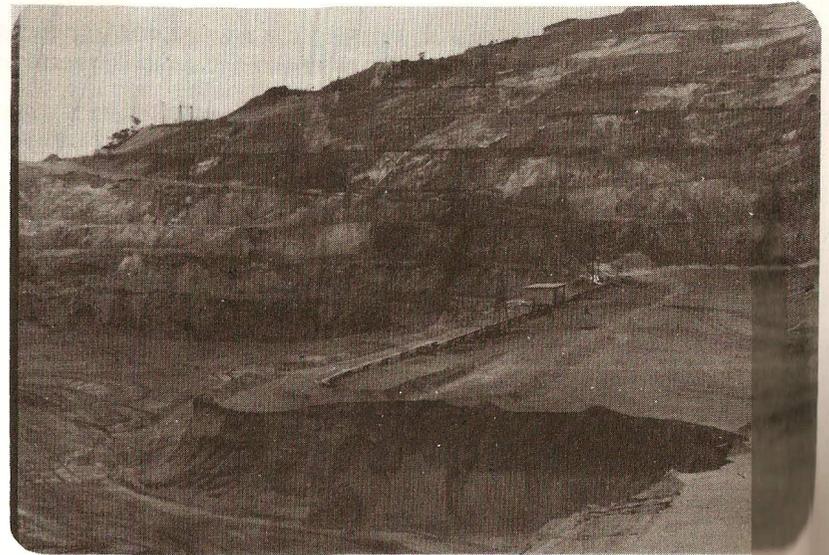


Foto nº 2 - tirada em 29 de agosto de 1986.

Mesma área da foto anterior, mostrando os bancos 946, 928 e 928, completamente secos.

ABSTRACT -- Since 1982 Conceição iron ore mine in Itabira - M.G. faces problems due to the appearance of the water table in the lowest benches of the mine. In order to drawdown the water level it was chosen the dewatering by means of deep wells. In 1983, THEMAG Engineering developed the preliminar studies of alternatives for drainage and dewatering of Conceição mine, including the utilization of deep wells to drawdown the watertable. Lately CVRD chose the best alternative optimizing it by means of a computer calculation elaborated by Caporali (1983).

The main objective of this paper is to compare the designed theoretical drawdowns with those obtained after the start up of the operation of the deep wells battery.