

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA O DESAGUAMENTO DA MINA DO GERMANO EM MARIANA - MG.

ADELBANI BRAZ DA SILVA * e VITOR MÁRCIO NUNES FEITOSA **

RESUMO

Foi realizado um estudo hidrogeológico da área de lavra de minério de ferro da mina do Germano, com objetivo de avaliar as causas da ascensão da superfície potenciométrica local e de projetar um sistema de desaguamento da cava da mina. Baseando-se em um modelo hidrogeológico concebido a partir dos dados existentes e ratificado pelos estudos e simulações realizadas foi proposta uma bateria de poços tubulares para desaguamento da mina concomitantemente a lavra do minério.

INTRODUÇÃO

A lavra do minério de ferro da mina do Germano atingiu as águas subterrâneas em níveis mais elevados do que os previstos no plano de lavra elaborado previamente. Assim, surgiram dois problemas a serem estudados. O primeiro era o de identificar as causas da elevação da superfície potenciométrica na cava da mina, ocorrida durante a sua lavra. O segundo era estudar as condições hidrogeológicas da área para avaliar as possibilidades do desaguamento econômico e em tempo hábil da mina do Germano da Samarco Mineração S/A. Este trabalho mostra os resultados dos estudos que foram realizados na mina do Germano com objetivo de projetar o rebaixamento da superfície potenciométrica do aquífero, e assim permitir a lavra até os níveis previstos anteriormente.

ROTEIRO METODOLÓGICO

Os trabalhos realizados seguiram o seguinte roteiro metodológico: coleta de dados geológicos, geo-estruturais e hidrogeológicos; interpretação dos dados existentes; planejamento do teste de bombeamento de poços pioneiros construídos para este fim; acompanhamento, fiscalização e coleta de dados dos testes de bombeamento dos poços pioneiros e dos piezômetros; processamento e refinamento dos dados dos dois testes de bombeamentos realizados; interpretação dos resultados dos testes; simulação de rebaixamento dos poços para diferentes tempos de bombeamentos, diversas distâncias e em várias direções no aquífero; definição do modelo hidrogeológico ao redor do poço bombeado; definição da bateria de poços necessária ao rebaixamento do lençol freático na mina do Germano; projeto dos poços desta bateria; definição da malha de piezômetros de observação do rebaixamento do lençol; acompanhamento e orientação da entrada em operação do rebaixamento; recomendações para o manuseio e operação dos poços de forma adequada.

* Geólogo PhD do IGC/UFMG, Rua Panema 338, BHZ-MG, Cep 31.130-620.

** Geólogo da Samarco Mineração S/A, Caixa Postal 22, Mariana-MG, Cep 35.420-000.

MODELO HIDROGEOLÓGICO

A partir dos dados levantados pode-se conceber o modelo hidrogeológico para a área da mina do Germano. O aquífero local é constituído do minério de ferro (itabirito). Trata-se de um aquífero granular, heterogêneo, anisotrópico, de espessura variável e parcialmente livre e confinado. É um aquífero de extensão limitada lateralmente e na sua base pelos filitos das formações Cauê e Sabará. Na porção leste da mina o aquífero é sobreposto pelos xistos da formação Nova Lima que lhe confere um confinamento hidráulico local. Desta forma, o aquífero comporta-se como uma "caixa de água cheia de areia" onde a recarga é por água que se infiltra pela superfície livre, e que é necessário um "desaguamento" para esvasiar esta "caixa" e baixar o seu nível de água, (Figura 1).

A ocorrência, circulação, recarga e descarga de água subterrânea no local na mina estão restritas ao aquífero do minério de ferro. Assim, toda recarga do aquífero é feita exclusivamente e localmente por infiltração de águas pluviais que precipitam na bacia de drenagem da mina. Convém salientar que a grande falha geológica que "trunca" as camadas mineralizadas ao sul da mina poderia também constituir-se uma fonte de recarga do aquífero, através da descarga de águas profundas infiltradas à grande distância da mina no quartzito Moeda, ao longo do plano da falha. Com este tipo de recarga pluvial localizada do aquífero, pode-se adiantar que a execução da lavra da mina ao longo do tempo, aumentou a bacia de drenagem superficial local, induziu o aumento da infiltração e acelerou a recarga do aquífero durante os últimos anos, elevando, conseqüentemente, o nível natural de lençol freático na mina. A circulação preferencial das águas subterrâneas ocorre no sentido de sul para norte em direção ao córrego do Germano. Secundariamente tem-se também o escoamento de oeste para leste no sentido do mergulho das camadas de rochas.

A área de descarga do aquífero em apreço é o córrego do Germano. Este córrego inclusive, é perenizado pela descarga de água do aquífero para a superfície. Esta descarga ocorre por ascensão e afloramento do lençol na superfície ou através de fraturas e falhas geológicas que cortam o xisto Nova Lima e controlam estruturalmente o córrego do Germano. Na disposição de material de estéril (argiloso) da mina nas cabeceiras do córrego do Germano, durante vários anos, pode também ter "represado" a descarga natural do aquífero naquele ponto. Como consequência deste fato é provável ter havido uma modificação do equilíbrio natural do escoamento subterrâneo e um levantamento do lençol freático a montante (dentro da mina). Com isto, verifica-se que o efeito combinado da indução de infiltração das águas pluviais com a abertura da cava aliada ao represamento da descarga natural do aquífero pode ter provocado um aumento da espessura natural da zona saturada do aquífero ao longo dos últimos anos.

A estruturação geológica das camadas de minério, com mergulhos para leste e espessura aumentando de oeste para leste, conferem ao

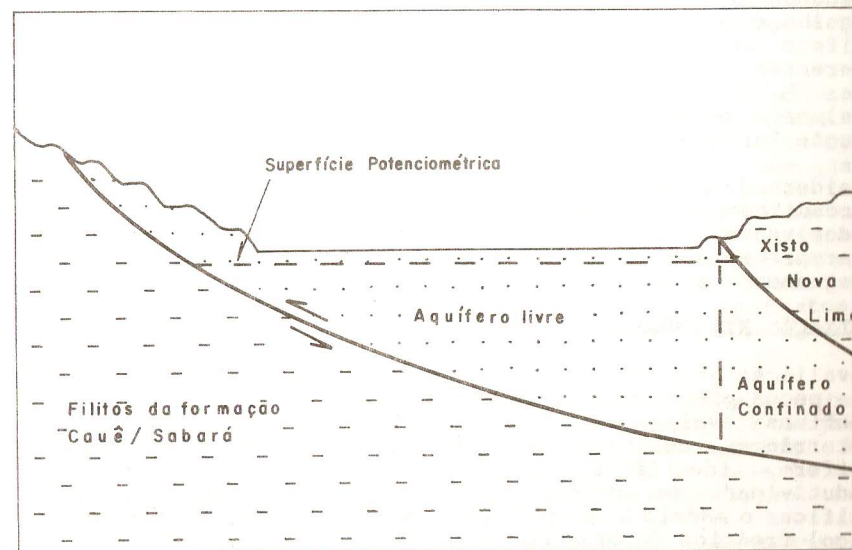


FIGURA 1 - CORTE ESQUEMÁTICO DO AQUÍFERO DA MINA DO GERMANO

aquífero uma variação de transmissividade que aumenta de oeste para leste. Além disso, as variações faciológicas, deformações tectônicas dúcteis e a trama de falhas geológicas, mais ou menos paralelas, com planos com direção leste-oeste, fazem variar intensivamente as características hidrodinâmicas do aquífero, compartimentando diversos "blocos" com comportamentos hidrogeológicos próprios e peculiares. Esta compartimentação provoca grandes variações das características hidrogeológicas na mina principalmente segundo a direção norte-sul. Verifica-se assim que o aquífero em apreço é anisotrópico e heterogêneo segundo as direções do escoamento natural (sul para norte) e segundo o mergulho das camadas de minério (oeste-leste). Imagina-se que o aquífero na mina é compartimentado em diversos "blocos" com diferentes transmissividades e coeficientes de armazenamentos. Estes "blocos" seriam intercomunicáveis entre si e limitados localmente pelas falhas geológicas através dos seus planos com direção leste-oeste.

Considerando-se a granulometria das rochas que formam o aquífero e os resultados dos testes presume-se que na mina exista um aquífero predominantemente de baixa transmissividade e pequeno coeficiente de armazenamento. Este fato pode ser um indicativo favorável à um desaguamento acelerado da mina em questão.

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.

A avaliação hidrogeológica foi realizada através da perfuração de três poços pioneiros. Estes poços, em última análise, tinham como objetivos avaliar as características hidráulicas das águas subterrâneas, conhecer as condições geológicas e estruturais do aquífero, identificar anomalias hidrogeológicas e medir a produtividade dos poços. Com estas informações seria possível ratificar o modelo hidrogeológico para o projeto de rebaixamento do lençol freático da mina do Germano.

O primeiro poço pioneiro (Hidro) foi locado aproximadamente no centro geométrico da mina e no limite norte da área de interesse para o rebaixamento do lençol freático. O poço foi locado entre duas falhas geológicas cujas planos são aproximadamente verticais e tem direção de leste-oeste. O principal objetivo desta locação entre as duas estruturas geológicas foi avaliar a interferência do sistema de falhas (E-W) no comportamento do aquífero e no fluxo da água subterrânea. Procurou-se identificar os valores dos parâmetros hidráulicos do aquífero nas direções perpendicular e paralela a estas descontinuidades geológicas.

O segundo poço pioneiro (Corner I) foi locado no limite leste do aquífero livre e no início da porção confinada das águas subterrâneas na mina. Esta locação tinha como principal diretriz, além dos testes, o posterior aproveitamento do poço no sistema de rebaixamento do lençol d'água. O local escolhido visava avaliar as condições de confinamento aquífero, a penetração total do poço no aquífero, os parâmetros hidrodinâmicos e ratificar o modelo hidrogeológico concebido para a mina. Neste ponto a mina já está no

"pit" final e conseqüentemente não haveria a necessidade de modificação do poço durante a lavra dos bancos mais profundos da mina.

O terceiro poço pioneiro (Corner II) também foi programado para ser aproveitado como poço para o sistema de bombeamento do aquífero no desaguamento da mina. O local escolhido visou avaliar e ratificar as condições de confinamento do aquífero e as interferências dos limites impermeáveis no sul da mina na evolução do cone de rebaixamento, durante o bombeamento do poço. Além disso, este poço objetivou avaliar a existência de uma possível recarga subterrânea do aquífero através da grande falha geológica profunda que trunca a seqüência litológica ao sul da mina.

Ao redor do poço "Hidro" foram perfurados sete piezômetros, dispostos em direções perpendicular e paralela aos planos das falhas geológicas, isto é, nas direções norte-sul e leste-oeste (aproximadamente). Para o poço "Corner I" foram construídos quatro piezômetros, também nas mesmas duas direções anteriores. No teste deste poço foram aproveitados também os piezômetros usados no teste do poço "Hidro". Os testes nos poços durante 72 horas permitiram calcular os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, avaliar a evolução do cone de rebaixamento na mina e identificar anomalias e interferências no fluxo da água subterrânea. Após os testes de bombeamentos foram medidas as recuperações dos níveis de água nos poços e nos piezômetros.

Foram realizados também testes de vazões escalonadas nos poços Hidro, Corner I e Corner II, para avaliação das perdas de cargas no aquífero e nos filtros e pré-filtros durante os bombeamentos. Para cada "step" de vazão o poço foi bombeado durante duas horas e observados os rebaixamentos dentro do poço e no pré-filtro.

Na interpretação dos gráficos do teste do poço Hidro observa-se que o cone de rebaixamento interceptou "barreiras hidrogeológicas" durante o bombeamento. Na figura 2 encontram-se as isolinhas que refletem a forma do conoide de rebaixamento no final do teste do poço Hidro. Nota-se nesta figura a forma elíptica do conoide, ratificando as diferentes transmissividades do aquífero nas direções norte-sul e leste-oeste. Os valores dos parâmetros hidrodinâmicos determinados no teste de bombeamento realizado no poço pioneiro "Hidro", são considerados baixos para este tipo de aquífero livre. Talvez seja a influência da penetração parcial do poço no aquífero e dos problemas de completação ocorridos na construção do poço. A interpretação dos dados do teste do poço Corner I mostra um comportamento hidráulico completamente diferente naquele ponto do aquífero. As transmissividades encontradas são sensivelmente maiores e os coeficientes de armazenamentos típicos de aquíferos arenosos livre e de aquíferos confinados de baixa capacidade de armazenamento. O conoide de rebaixamento também encontrou "barreiras hidrogeológicas" no aquífero durante a sua expansão. Assim, aquela porção do aquífero tem uma maior transmissividade e na porção confinada menor armazenamento de água subterrânea. Convém lembrar que os valores das transmissividades

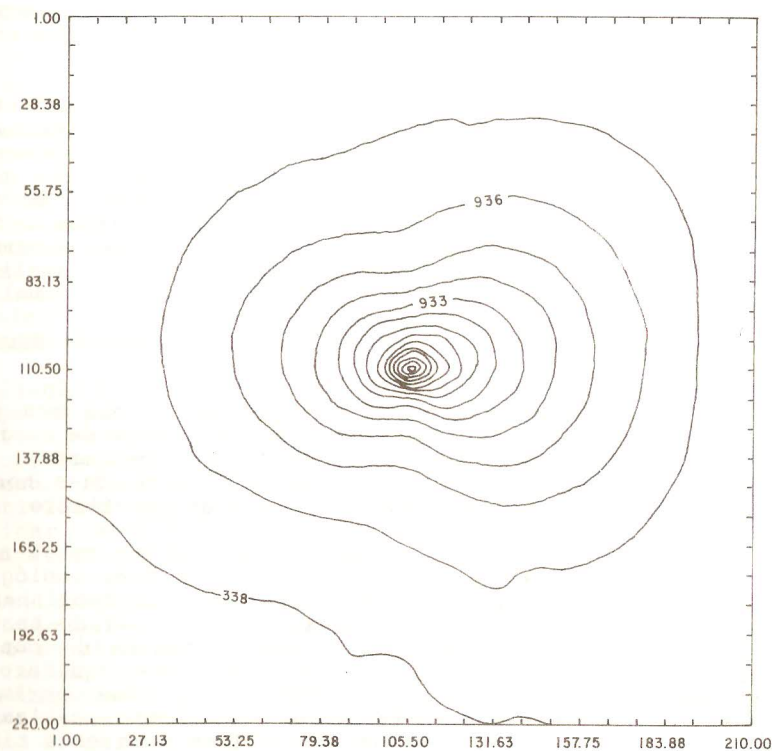


FIGURA 2 - SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO TESTE DO POÇO 1 APÓS 72 HORAS

encontradas podem estar influenciadas por uma maior penetração do poço Corner I no aquífero do que a existente no poço Hidro. A forma do conoide do poço Corner I reflete também a heterogeneidade do aquífero.

O valor modal das transmissividades calculadas no teste do poço Hidro foi de $60 \text{ m}^2/\text{d}$ e o valor representativo do coeficiente de armazenamento para este tipo de aquífero livre foi de $1,5.E-03$. No teste do poço Corner I o valor da transmissividade que mais ocorre e representa o aquífero naquele local é da ordem de $200 \text{ m}^2/\text{d}$. Isto sugere uma boa transmissividade naquela porção do aquífero. Esta transmissividade pode também estar influenciada pela maior penetração deste poço no aquífero, pela maior espessura do aquífero naquele ponto e pelas condições hidrogeológicas locais. Alguns valores dos coeficientes de armazenamento no teste do poço Corner I foram influenciados pela porção confinada do aquífero à leste do poço. São valores muito baixos, típicos de aquíferos confinados. O valor modal do coeficiente de armazenamento confinado para o teste Corner I é de $1,0.E-06$, na área próxima do poço. Valores menores foram encontrados com a expansão do cone de rebaixamento. A maioria dos valores encontrados para o aquífero livre neste teste é da ordem de "E-03". Os dados obtidos durante a recuperação dos níveis de água no aquífero após o teste Corner I revelaram que houve influência externa (recarga-descarga artificial na lavra). Assim, a maioria dos dados de recuperação não foram aproveitados para calcular os parâmetros hidráulicos do aquífero.

As observações das variações dos níveis nos piezômetros durante os testes mostraram a grande anisotropia e heterogeneidade do aquífero em diferentes direções e em profundidade. Desta maneira, a definição de um único valor representativo dos parâmetros hidrodinâmicos para todo o aquífero fica muito prejudicada. Para se obter valores bem representativos do aquífero em diferentes pontos da área seria necessário um maior número de testes de bombeamentos em diversos locais e em poços totalmente penetrantes no aquífero. Pode-se admitir, no entanto, que os valores encontrados nestes dois testes aproximam-se dos prováveis valores representativos do aquífero em questão, tanto para a sua porção livre como para a porção confinada. Assim, pode-se adotar a transmissividade máxima modal observada da ordem de $200 \text{ m}^2/\text{d}$ e a mínima de $60 \text{ m}^2/\text{d}$. O coeficiente máximo representativo $1,5.E-03$ (livre) e o mínimo $1,7.E-06$ (confinado). Com a transmissividade mínima de $60 \text{ m}^2/\text{dia}$ foi obtida no teste do poço Hidro (poço com grande perda de carga decorrente dos problemas de construção e com penetração parcial acentuada), deve-se admitir que a transmissividade mais representativa do aquífero é a obtida no teste do poço Corner I, isto é, $200 \text{ m}^2/\text{dia}$ e o coeficiente de armazenamento representativo de $1,5.E-03$.

SIMULAÇÕES DOS REBAIXAMENTOS

As simulações do rebaixamento da mina do Germano foram realizadas utilizando-se o "software" denominado "Welflo", desenvolvido por W. Walton em 1989. Trata-se do método analítico de simulação, baseado

na equação hidrodinâmica do aquífero proposta por Theis, 1935. Neste "software" não são considerados as variáveis das anomalias e heterogeneidade do aquífero nem as barreiras hidrogeológicas ou recarga do aquífero. Pode-se calcular os rebaixamentos à diferentes distâncias e direções dos poços bombeados em função dos tempos de bombeamentos. Este programa serve para definir uma ordem de grandeza dos rebaixamentos da superfície potenciométrica em função das vazões e dos tempos de bombeamentos.

A área simulada foi dividida em sub-áreas formando uma malha retangular com 20 colunas (direção leste-oeste) e 30 linhas (direção sul-norte). Cada sub-área forma um quadrado com 25 metros de lado. A área total simulada foi um retângulo com 500 metros de largura e 750 metros de comprimento. Esta área extrapola a superfície de afloramento do aquífero e engloba os filitos impermeáveis que limitam a ocorrência das águas subterrâneas. No modelo adotado tal área foi considerada em condição "infinita" do aquífero.

A figura 3 mostra um exemplo de superfície potenciométrica simulada durante os trabalhos. Neste caso a simulação foi para bombeamentos contínuos de 360 dias, considerando-se as seguintes vazões (m³/h): Hidro = 7.3; Corner I = 19.0; Corner II = 10.0. A transmissividade adotada foi de 200 m²/dia e o coeficiente de armazenamento de 0.0015.

Convém ressaltar que nestes rebaixamentos simulados não foram consideradas as barreiras hidrogeológicas negativas (contato geológico com os filitos Cauê/Sabarará) que existem nas porções oeste e sul da mina nem as condições de aquífero confinado à leste. Assim, os rebaixamentos reais poderão ser maiores que os simulados. Nas áreas próximas das barreiras citadas os rebaixamentos reais poderão ser o dobro dos simulados.

Adianta-se que o rebaixamento muito acelerado pode "deixar" níveis de água suspensos no sub-solo e também provocar recalques nos terrenos e nos taludes.

A recarga do aquífero por águas pluviais certamente inibirá o rebaixamento do lençol freático da mina, invalidando assim estas simulações realizadas. Com a elaboração de um modelo matemático de simulação do aquífero da mina será possível avaliar os impactos provocados pela recarga do aquífero, barreiras hidrogeológicas, heterogeneidade, anisotropia e outros.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados existentes e do conhecimento hidrogeológico atual da mina do Germano tem-se as seguintes conclusões e recomendações: os resultados obtidos ratificaram o modelo hidrogeológico concebido para a mina do Germano; simulações efetuadas sugerem um rebaixamento do aquífero com poucos poços para bombeamento; é importante a elaboração do balanço hídrico local,

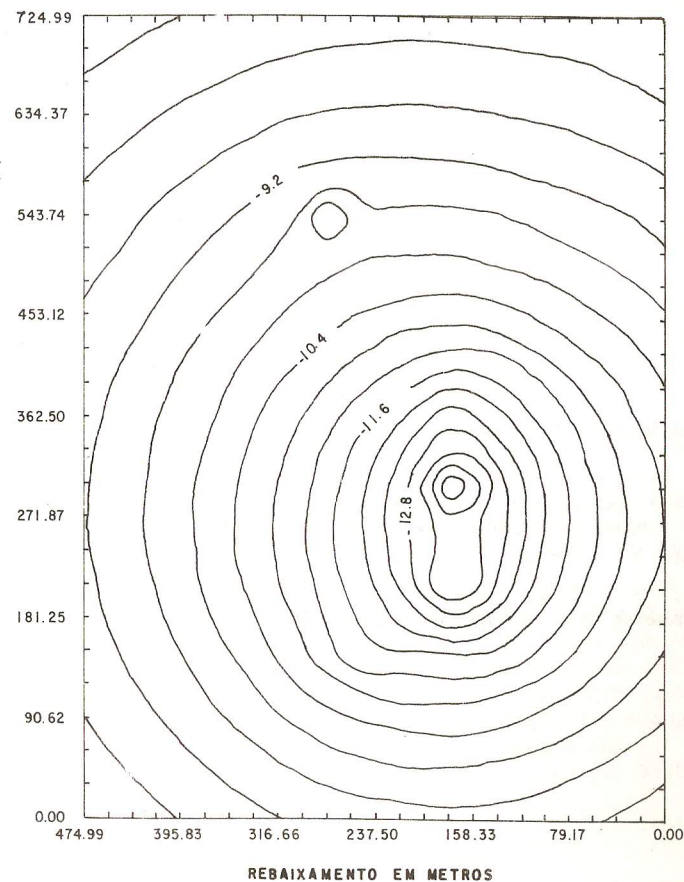


FIGURA 3 - REBAIXAMENTO APÓS 360 DIAS

para definição da recarga anual e mensal do aquífero através das águas pluviais para avaliar a sua interferência no desaguamento da mina; a elaboração de um modelo matemático numérico de simulação da evolução da superfície potenciométrica, através de retroanálise dos rebaixamentos, favorecerá o acompanhamento do desaguamento e o planejamento dos futuros bombeamentos e das alterações na bateria de poços para atingir os níveis desejados no tempo previsto. Este modelo poderá prever, inclusive, os efeitos da recarga de águas pluviais no aquífero nos trabalhos de rebaixamento do lençol freático; o acompanhamento da evolução do rebaixamento e dos volumes explotados são dados importantes para a análise da evolução do desaguamento da mina e o planejamento das alterações ou adaptações na operação de bombeamento; o controle da qualidade química da água, das ferro bactérias, e a manutenção periódica dos poços e bombas são indispensáveis ao bom funcionamento do sistema de desaguamento a curto, médio e longo prazo; a drenagem das águas pluviais dentro da cava deverá ser feita de maneira a diminuir o mínimo possível a presença de água superficial na área do rebaixamento para minimizar a recarga acelerada do aquífero; deve-se monitorar a estabilidade dos taludes da cava durante a operação de desaguamento da mina; a datação das águas subterrâneas da mina do Germano com isótopos de trício poderá dar informações sobre a recarga e tempo de residência da água no aquífero.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- THEIS, C.V. - 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Transactions of the American Geophysical Union, vol 16, Part 2.
- WALTON, W.C. - 1989. Analytical groundwater models. McGraw-Hill publishers Inc. 173p, Michigan-USA.