

O REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA EM MINERAÇÃO E OBRAS CIVIS

Antônio Carlos Bertachini¹; Danilo Carvalho de Almeida²

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os trabalhos de desaguamento de grandes minas foram iniciados na década de 80. Entretanto, a mineração, desde os tempos da colônia, já praticava o rebaixamento do nível d'água, principalmente no século 19 quando teve maior ênfase a mineração subterrânea. Nas obras civis o rebaixamento do nível d'água é uma prática corriqueira, geralmente denominada de "rebaixamento do lençol freático". Existe uma diferença básica entre os dois procedimentos, essa diferença é dada pela duração da atividade. Enquanto nas obras civis o rebaixamento do nível d'água é praticado apenas durante a fase de construção, na mineração a atividade se desenvolve desde o momento em que a cava atinge o nível d'água e perdura até o momento de se iniciar o processo de descomissionamento da mina.

2. O REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA EM OBRAS CIVIS

O denominado "rebaixamento do lençol freático" geralmente ocorre durante a construção de uma determinada obra, um tal como um túnel, metrô, shopping, usina elétrica, etc, e termina com a conclusão da obra. Em alguns casos, junto com a obra é instalada uma estrutura de drenagem "perene", que fica para sempre mantendo o nível d'água rebaixado, em outros casos a estrutura é impermeabilizada e o nível d'água retorna a sua posição inicial.

O rebaixamento do nível d'água Os e os volumes bombeados e o rebaixamento do nível d'água são em geral pequenos, não excedem excedendo a algumas dezenas de metros e vazões inferiores a uma centena de metros cúbicos por hora respectivamente. Quando se tratam de obras urbanas o risco de danos a estruturas provocados pelo recalque do terreno faz com que sejam empregadas outras técnicas de escavação, como por exemplo: o congelamento da água subterrânea, a injeção de cimento e outros materiais para impermeabilizar parte do aquífero, a instalação de paredes diafragma, etc.

O planejamento é realizado de forma a gerar o do rebaixamento do nível d'água praticamente instantâneo, ou seja, uma vez instaladas as estruturas de drenagem estas devem promover o desaguamento desejado em um pequeno espaço de tempo, em geral alguns dias ou no máximo um ou dois meses. As ferramentas de planejamento empregadas são fórmulas empíricas ou simplificações de Dupuit ou de Forchheimer, em regime permanente, como por exemplo Sichardt (em Leonards-1962, pág. 307).

As estruturas de drenagem empregadas são em geral os poços tipo ponteira, ou poços tubulares de pequeno diâmetro, e eventualmente são empregados poços tubulares convencionais. Os poços são dispostos em baterias, com distância de alguns metros entre um poço e outro. As baterias de

1) Geólogo, USP 1975; Hidrogeólogo - Universidad Politécnica de Barcelona, 1978; Mestre em Hidrogeologia, USP 1987; MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda (mdgeo@mdgeo.com.br)

2) Geólogo, UFMG, 1994, Hidrogeólogo - Companhia Vale do Rio Doce (danilo.almeida@cvrd.com.br)

poços contornam toda a escavação situada abaixo do nível d'água. Dependendo da necessidade de rebaixamento, os poços podem ser bombeados com bombas centrífugas, injetoras e submersas.

Em alguns casos os poços continuam sendo bombeados após o término da obra ou atuando como drenos verticais conectados a adutoras posicionadas abaixo do nível d'água original do aquífero

3. O REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA EM MINERAÇÃO

Grande parte dos depósitos minerais está situada abaixo da superfície piezométrica dos aquíferos, ou seja, é parte ou está associado a um reservatório subterrâneo. Dependendo das condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas do aquífero, a água pode vir a ser mais uma dificuldade para as operações de lavra. Algumas minas chegam a bombear volumes enormes de água subterrânea, da ordem de uma ou mais centenas de milhões de metros cúbicos por ano e o rebaixamento do nível d'água chega a alcançar algumas centenas de metros.

O rebaixamento do nível d'água em mineração é bem mais complexo que em obras civis, a atividade tem seu início antes mesmo da mina atingir o nível d'água do aquífero. Do ponto de vista operacional o desaguamento é encerrado ao término da atividade de lavra, a qual tem duração de algumas décadas. Entretanto, o rebaixamento do aquífero persiste enquanto o nível d'água não atinge a condição de equilíbrio, quando a própria cava segue realizando o rebaixamento do nível d'água no seu entorno. Em algumas situações são necessárias a realização de obras para poder ocorrer a recuperação do aquífero.

Nas grandes e médias cavas de mineração a atividade tem um potencial considerável de geração de impactos sobre os recursos hídricos, que em alguns casos podem ser transformados em impactos ambientais. Os impactos sobre os recursos hídricos tendem a afetar outros usuários, gerando problemas de gestão, nem sempre de fácil solução. Entretanto, o desaguamento tende também a aumentar a disponibilidade local dos recursos hídricos, cuja gestão quando bem conduzida pode vir a gerar benefícios.

O Estado de Minas Gerais, com larga tradição em mineração, possui em sua estrutura de gestão dos recursos hídricos e ambiental procedimentos legais para regulamentar especificamente a atividade, através da Outorga e Licenciamento do Rebaixamento do Nível D'água. Os passos fundamentais para a execução de estudos hidrogeológicos do rebaixamento do nível d'água em mineração serão apresentados no restante deste documento, cabendo salientar que dependendo da escala podem também serem empregados no rebaixamento do nível d'água em obras civis.

4. ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA FINS DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

Em maio de 2002 a ABAS-MG realizou o I SIMPÓSIO DE MINERAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS, cujo tema principal foi: o Rebaixamento do Nível D'água na Mineração, o texto a seguir contempla a abordagem deste autor no Simpósio, bem como contribuições dos demais participantes no evento. A seqüência dos itens a seguir compreende os passos de um "Relatório de Controle Ambiental e o Programa de Controle Ambiental do Rebaixamento do Nível D'água" apresentado ao sistema de gestão ambiental do Estado de Minas Gerais para obtenção da Outorga e Licença Ambiental do rebaixamento do nível d'água em mineração.

4.1 MODELO GEOLÓGICO

A definição do modelo geológico da área é a primeira etapa de qualquer trabalho em hidrogeologia. Na mineração o depósito mineral tem sua geologia muito bem detalhada, em escalas que vão de 1:500 a 1:2.000, com seções geológicas verticais e horizontais. Entretanto, o entorno da

mina é bem menos detalhado, dispondo-se apenas de mapas geológicos regionais em escalas entre 1:25.000 e 1:250.000.

A mineralização, na maioria das vezes, condiciona o comportamento hidrogeológico dos aquíferos, criando compartimentações importantes. Por outro lado, processos de mineralização como aqueles de origem hidrotermal ou supergênicas foram fortemente influenciados pelas características hidrogeológicas pretéritas ou atuais. A gênese da jazida, arduamente estudada na fase de pesquisa mineral, fornece subsídios de alta relevância na constituição do modelo hidrogeológico de um depósito mineral.

Para o bom conhecimento da hidrogeologia de uma mina é necessário também o mapeamento geológico do entorno em escalas entre 1:5.000 e 1:10.000. Geralmente esse tipo de mapeamento é uma das primeiras etapas a serem executadas.

Na mineração a execução de sondagens mecânicas é uma atividade rotineira que se inicia na fase de pesquisa e persiste durante a lavra. O aproveitamento desses furos como piezômetros gera um excelente banco de dados hidrogeológicos a baixo custo.

4.2 HIDROMETEOROLOGIA

A compilação dos dados meteorológicos principalmente pluviometria, evaporação e temperatura do ar, bem como os dados fluviométricos regionais são de fundamental importância na definição do modelo hidrogeológico preliminar. Entretanto, para a definição do modelo hidrogeológico da mina é necessário que se disponha ao menos de dados locais de pluviometria e hidrologia.

Nas áreas que não disponham de pluviômetros próximos é recomendável a sua instalação, em regiões remotas recomenda-se a instalação de estações meteorológicas completas.

Os dados hidrológicos das pequenas bacias situadas no entorno das áreas de interesse são obtidos através da instalação de vertedouros que objetivam principalmente o conhecimento do escoamento básico.

4.3 INVENTÁRIO DE PONTOS D'ÁGUA

Esta é sem dúvida a mais importante atividade a ser desenvolvida em um estudo hidrogeológico voltado para o rebaixamento do nível d'água. Trata-se de uma atividade árdua que consiste no inventário sistemático de todas as surgências de água subterrânea contidas nas sub-bacias do entorno do empreendimento. A forma correta de executar o inventário é percorrer toda a área do entorno e cadastrar todas as surgências de água subterrânea, sumidouros, lagoas naturais, barramentos existentes, poços tubulares, poços escavados, poços de monitoramento, piezômetros, drenos de estabilidade de taludes, etc.

No cadastro dos pontos d'água devem ser considerados os seguintes aspectos:

1. Locação em campo em fotografia área ou ortofotocarta;
2. Locação com topografia ou GPS;
3. Proprietário do terreno;
4. Designação local do ponto d'água;
5. Captações existentes, uso da água;
6. Croquis de situação e acessos;
7. Bacia hidrográfica;
8. Esquema geológico da surgência;
9. Especificamente nos poços tubulares e piezômetros deve-se obter: perfis litológico e construtivo, companhia perfuradora, materiais empregados, dados sobre níveis estático e dinâmico, vazões, equipamentos, etc;

10. Nivelamento com topografia ou altímetro (barométrico) da cota de afloramento do nível d'água das surgências, ou a cota de referência para leituras do nível d'água em poços e piezômetros;
11. Efetuar medições expeditas de vazão nas surgências e drenagens;
12. Efetuar medidas do nível d'água em piezômetros e poços escavados, executar ensaios de infiltração expeditos;
13. Realizar medidas de vazão, nível estático e nível dinâmico nos poços tubulares em operação, executar ensaios de bombeamento expeditos;
14. Determinação "in situ" de temperatura do ar e da água, pH, Eh e condutividade elétrica;
15. Compilação de dados sobre medições de vazão, níveis, análises físico-químicas, etc;
16. Fotografar os detalhes e o conjunto das surgências.

As surgências de água subterrâneas ocorrem ao longo das drenagens em determinadas situações podem se infiltrar novamente no terreno ou mesmo serem captadas. Desta forma, todas as drenagens do entorno da água de interesse, secas ou não, devem ser percorridas, inclusive aquelas de difícil acesso.

A delimitação da área a ser inventariada deve contemplar aspectos técnicos, tais como a extensão dos aquíferos presentes, que potencialmente podem ser afetados pelo rebaixamento do nível d'água. Entretanto, deve-se considerar também aspectos sócio-culturais, ou seja, abranger também a área em que leigos possam julgar possível de ser impactada.

Ao final da fase de inventário devem ser selecionados poços tubulares e piezômetros para a execução de ensaios de bombeamento e ensaios de infiltração. Os quais devem ser realizados ainda na fase de inventário.

4.4 PROGRAMA DE MONITORAMENTO

Terminada a fase de Inventário dos Pontos D'água, o passo seguinte é o projeto, implantação e operação de uma rede de monitoramento a qual deve conter minimamente os seguintes instrumentos:

- Piezômetros e Indicadores de Nível D'água;
- Vertedouros para medição do escoamento básico, nas surgências e rede de drenagem do entorno da área, constituindo micro-bacias uniformes do ponto de vista hidrogeológico.
- Construção e operação de poço tubular ou outra estrutura de drenagem para realização de ensaio de bombeamento de longa duração, quando necessário;
- Determinação de pontos e parâmetros para monitoramento hidroquímico e qualidade das águas;
- Pluviômetro ou estação meteorológica quando necessária.

Além dos instrumentos a serem instalados no empreendimento e entorno devem ser monitorados outros instrumentos, tais como:

- Poços tubulares e escavados em operação ou não pertencentes ao empreendimento ou a terceiros, volumes explotados e níveis;
- Drenos de estabilidade dos taludes, vazões;
- Drenagem de fundo de pilhas de estéreis;
- Captações de água subterrânea e de água superficial;
- Descargas e níveis de barragens e lagos naturais;
- Umidade do minério retirado da mina;
- Volumes de água retirados da mina, tanto as águas subterrâneas drenadas pela própria cava, quanto as águas de drenagem pluvial;
- Demais pontos relevantes.

Os critérios para a definição da área de abrangência da Rede de Monitoramento não podem ser estritamente técnicos, também deve ser sócio-cultural. Devem ser monitorados também aqueles pontos d'água que pessoas leigas possam julgar possíveis de serem impactados pelo rebaixamento do nível d'água. Em algumas situações é conveniente selecionar pequenas bacias hidrográficas afastadas da área de interesse, situadas em domínios hidrogeológicos similares, para possibilitarem correlações.

A natureza do instrumento de monitoramento deve ser o mais simples possível e de fácil compreensão de seu funcionamento pela comunidade. Os medidores de descarga tipo vertedouros são visualmente fáceis de correlacionar com o valor da vazão, as pessoas não necessitam aplicar as fórmulas matemáticas para saber se está ou não diminuído ou recuperando a vazão do corpo d'água. Analogamente, os piezômetros devem ser construídos com revestimentos convencionais e operados com medidores eletromecânicos de fácil manuseio. Em resumo, a Rede de Monitoramento deve apresentar o máximo de transparência para a comunidade.

Importante também, principalmente em áreas próximas a centros urbanos, a proteção do instrumento de medição, principalmente piezômetros, de modo que se dificulte ao máximo as ações de vandalismos, sem claro, dificultar a operação de leitura. Deve-se evitar, neste caso, o fechamento do tampão do tubo de boca com cadeado. Parafusar o mesmo com chave "alem" ou mesmo instalar o tampão rosqueado são soluções que se tem demonstrado eficientes. Pesa a favor do primeiro o fato que o leitor apenas carrega uma pequena chave de algumas gramas, e o outro uma chave de alguns quilos. Em localizações remotas, o segundo torna-se muito difícil.

A implantação da rede de monitoramento deve preceder ao máximo a atividade de rebaixamento do nível d'água, acumulando o máximo possível de dados anterior ao desagendamento. Nos novos empreendimentos de mineração o monitoramento tem seu início antes mesmo da abertura da mina.

4.5 ELABORAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO

De posse dos dados geológicos, do inventário dos pontos d'água, do monitoramento de pelo menos um ciclo hidrológico torna-se possível a elaboração do modelo hidrogeológico da mina. O modelo deve definir as unidades hidrogeológicas com sua geometria, parâmetros hidrodinâmicos, parâmetros hidroquímicos, potenciometria e condições de circulação e armazenamento da água subterrânea.

As unidades hidrogeológicas devem ser muito bem definidas no tocante ao seu comportamento, quanto a serem aquíferos, aquícludes, aquíquardos ou aquífugos. As condições e as áreas de recarga e descarga locais são também de fundamental importância, bem como o tempo de residência da água no aquífero. Os aquícludes e demais barreiras hidráulicas não podem ser inferidos, mas sim comprovados através de piezômetros e demais formas de investigação.

O modelo hidrogeológico é quem deverá fornecer as condições de contorno para o modelamento numérico do aquífero, fundamental à elaboração do projeto de rebaixamento e à predição dos possíveis impactos sobre os recursos hídricos. Todas as descargas de água subterrânea devem ser explicadas pelo modelo hidrogeológico e caso necessário o monitoramento das drenagens deve ser readequado para expressar as descargas das unidades hidrogeológicas presentes.

4.6 PROJETO DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

O projeto de rebaixamento do nível d'água inicia-se pela definição do que se deseja desaguar, se é uma cava a céu aberto ou uma escavação subterrânea, se é uma necessidade de melhoria das condições operacionais ou uma necessidade imposta pela estabilidade geotécnica da mina. Os primeiros trabalhos de drenagem de mina foram realizados para atender a estabilidade de taludes e da viabilidade operacional de minas subterrâneas.

A maioria dos projetos de rebaixamento do nível d'água são realizados nas médias e grandes cavas à céu aberto, e tais projetos necessitam da construção de estruturas de drenagem específicas. Pode-se considerar como minas de médio porte aquelas que movimentam valores acima da faixa de 5 a 10 milhões de toneladas por ano de estéril e minério.

Nas minerações de menor porte, tanto a céu aberto como subterrâneas o desaguamento é realizado pela própria escavação, onde a própria mina atua como estrutura de drenagem. A água é retirada por gravidade ou mediante bombeamento desde tanques (*sumps*) para onde é direcionada a água. Mesmo assim, a mina está gerando um rebaixamento do nível d'água, passível de todos os controles necessários.

4.6.1 Análise do sequenciamento de lavra

O primeiro passo de um projeto de rebaixamento do nível d'água é a análise do sequenciamento de lavra, que apresenta a evolução da escavação passo a passo ao longo do tempo. Essa análise é quem vai definir como deve ser a evolução do rebaixamento do nível d'água. O método de lavra também é muito importante, pois define como devem ficar as condições de operação da mina, a segurança, a insalubridade e os equipamentos de mineração.

Dependendo do tipo de minério, dos equipamentos de mineração e do processo de beneficiamento o que se deseja não é apenas o rebaixamento do nível d'água mas também que a umidade do minério esteja adequada aos equipamentos e processos empregados.

A cronologia da lavra e a natureza do desaguamento desejado são os fatores que determinam o rebaixamento a ser realizado. Nas minas de médio e grande porte deve-se trabalhar sempre com o princípio do pré-rebaixamento, ou seja, quando a mina vai abrir um novo banco ou galeria em profundidade o maciço deve estar adequadamente drenado. Se a diminuição da umidade é um fator crítico o desaguamento necessita de uma maior antecipação, pois a redução da umidade, quando possível, é mais lenta.

Tanto em minas a céu aberto como em minas subterrâneas o rebaixamento do nível d'água deve ser estipulado em função do avanço da mina, procurando manter uma determinada distância entre o nível d'água e a lavra. O ideal é que todas as modificações sejam realizadas antes do início do próximo período chuvoso, quando se processa a recarga e o ritmo do rebaixamento diminui. Mesmo as minas subterrâneas têm o seu "período chuvoso", alguns meses após o período chuvoso real, época em que o aporte de água subterrânea aumenta de forma significativa.

A análise do sequenciamento de lavra engloba também a proposição de descomissionamento para a mina, ou seja, o que será feito com a cava de exaustão e entorno. Em algumas situações são necessárias modificações no projeto de descomissionamento para otimizar a recuperação dos aquíferos.

A atividade de rebaixamento do nível d'água deve estar intimamente associada ao planejamento da lavra, adequando todas as modificações do planejamento ao desaguamento. De igual maneira, o planejamento deve considerar sempre a evolução do rebaixamento, principalmente na definição da forma de avanço da lavra.

4.6.2 Estimativa dos volumes a serem explotados e estruturas de captação

Na estimativa dos volumes a serem explotados deve-se considerar que o rebaixamento do nível d'água realiza uma superexplotação localizada de um ou mais aquíferos, ou seja, será necessário explotar um volume de água maior que a reserva renovável local, conseqüentemente parte da reserva geológica de água subterrânea.

Entretanto, as mineralizações e os aquíferos tendem a estarem compartimentados, principalmente em depósitos minerais cuja gênese sofreu algum condicionamento hidrogeológico. O modelo hidrogeológico do corpo mineral e do entorno fornecem as informações básicas para a estimativa dos volumes.

Nas minas situadas em aquíferos pouco expressivos, em rochas compactas e nas lavras de pequeno porte o rebaixamento pode ser realizado pela própria lavra. Nestas situações os volumes explotados são pequenos, da ordem cem a 300 mil metros cúbicos por ano (10 a 30 m³/h) de remoção de água subterrânea.

Em minas com maior porte e associadas a aquíferos expressivos torna-se necessário o uso de estruturas de captação de água subterrânea, tais como: poços tubulares, galerias de drenagem, trincheiras, drenos escavados, drenos perfurados, etc. Nestas condições os volumes águas subterrâneas a serem explotados são expressivos, da ordem de milhões de metros cúbicos por ano.

Os poços tubulares profundos são as estruturas de captação de água subterrânea mais empregadas, principalmente na mineração à céu aberto. As principais vantagens dos poços tubulares residem em: permitir o avanço do rebaixamento em profundidade, ocupar pequenas praças na construção e operação e distribuir o desembolso financeiro praticamente ao longo da vida da mina.

As galerias de drenagem são as estruturas de captação mais empregadas na mineração subterrânea. Em minas à céu aberto o seu uso é mais restrito e geralmente não dispensam o uso conjunto com poços tubulares. Quando apresentam condições para o escoamento da água subterrânea por gravidade constituem-se em excelentes estruturas de captação, entretanto, o seu custo de implantação é sempre muito elevado.

As demais estruturas de captação são empregadas em conjunto com os poços tubulares e galerias ou em determinadas etapas da lavra.

4.6.3 Dimensionamento do sistema de rebaixamento

A melhor ferramenta para o dimensionamento racional do sistema de rebaixamento é o modelamento numérico do fluxo d'água subterrânea. Os modelos possibilitam o prognóstico do sistema de rebaixamento, bem como o seu planejamento: ao longo da vida da mina e na fase de descomissionamento até a recuperação dos níveis d'água dos aquíferos.

4.6.3.1 Modelo numérico

Os modelos a serem empregados podem ser do tipo analíticos, diferenças finitas ou elementos finitos, dependendo da complexidade do problema a ser estudado. Os modelos analíticos são muito pouco empregados, apenas em situações muito simples ou então para prognósticos preliminares. Por outro lado, os modelos de elementos finitos são empregados para soluções mais complexas ou por centros de pesquisa. Os modelos de diferenças finitas são os mais empregados, principalmente aqueles que dispõem de softwares mais amigáveis, que possibilitam a sua adequação ao dia a dia das equipes de hidrogeologia das companhias de mineração.

Em qualquer tipo de modelo numérico empregado, a definição do modelo físico ou conceitual associado ao conjunto de dados que possibilitem a sua calibração, são os fatores que determinam o seu sucesso ou fracasso na predição dos eventos futuros.

O modelo físico, conceitual ou hidrogeológico é quem vai determinar a abrangência da área a ser modelada, a geometria dos aquíferos, as condições de contorno, os parâmetros hidrodinâmicos, o regime da simulação e os elementos de controle da calibração.

A rede de monitoramento é quem fornece o conjunto de dados necessário à calibração do modelo. Os instrumentos de monitoramento devem ser operados ao menos no decorrer de um ciclo hidrológico, para poder proceder uma calibração inicial do modelo.

A simulação do rebaixamento deve ser realizada à luz do planejamento de lavra, com os objetivos do rebaixamento associados ao arranjos geométricos da mina determinados pelo planejamento de longo e curto prazo. Nesta fase define-se o ritmo do pré-rebaixamento, de forma a evitar um bombeamento excessivo e desnecessário, mas ao mesmo tempo seguro. Evidentemente estas simulações são obrigatoriamente realizadas em regime transitório, o uso de simulações em regime permanente para a predição do rebaixamento do nível d'água em mineração sinalizam volumes absurdos de água a ser explotada.

Ainda na fase de projeto do rebaixamento do nível d'água, a simulação da recuperação deve ser realizada, com vistas a melhor definir o Programa de Controle Ambiental necessário ao descomissionamento da mina.

4.7 ANÁLISE DOS IMPACTOS - RELATÓRIO DE CONTROLE AMBIENTAL

4.7.1 Definição dos impactos

Os impactos gerados pelo rebaixamento do nível d'água podem ser agrupados em dois tipos básicos, a saber:

Impactos Ambientais – impactos sobre a fauna, a flora, a qualidade d'água, edificações, estradas, canais, etc;

Impactos sobre os recursos hídricos – restringem-se a impactos sobre a disponibilidade dos recursos hídricos.

4.7.1.1 Impactos ambientais

Os impactos sobre a flora decorrem de operações de rebaixamento do nível d'água que drenam aquíferos rasos, os denominados como aquíferos freáticos ou mesmo “lençol freático”, como utilizam os leigos. Os aquíferos rasos podem estar sotopostos a áreas com vegetação do tipo freatófitas, que se abastecem de água diretamente do aquífero e não da zona não saturada do solo. Nesta situação pode ocorrer um impacto ambiental gerado pelo rebaixamento do nível d'água.

O corriqueiro emprego do termo *Rebaixamento do Lençol Freático* gera um freqüente equívoco. As comunidades do entorno de uma mina acreditam que o rebaixamento do nível d'água afeta parte da flora local. Entretanto, o nível d'água da mina é profundo o suficiente para nenhuma freatófita retirar água do aquífero.

Os impactos sobre a fauna ocorrem somente se o rebaixamento do nível d'água secar os cursos d'água sem a devida reposição. Nesta situação parte da flora também pode vir a ser afetada.

Os impactos sobre a qualidade d'água ocorrem com mais freqüência em corpos minerais com sulfetos, onde é gerada a chamada drenagem ácida de mina. Em linhas gerais, os sulfetos na presença de água e ar oxidam-se, reduzindo o pH da água a valores suficientes para solubilizar metais pesados, outras substâncias e elementos. Nos corpos minerais, as rochas com potencial de geração de drenagem ácida encontram-se submersas e são expostas ao oxigênio do ar pelo rebaixamento do nível d'água.

Outra forma de impactos sobre a qualidade da água ocorre em minas com água subterrânea salinizada ou com qualidade inadequada ao ambiente, que naturalmente não escoam na superfície. Estes impactos são mais freqüentes em minas subterrâneas muito profundas que encontram águas que podem ser classificadas como águas conatas ou então em zonas áridas.

Os impactos sobre edificações e sistema viário ocorrem principalmente em operações de rebaixamento em rochas pouco consolidadas ou em aquíferos cársticos. Esse tipo de impacto é muito frequente no rebaixamento do nível d'água em obras civis, devido a dois aspectos: por serem realizados de forma imediata, em curto espaço de tempo e também por geralmente estarem situados em ambientes urbanos.

4.7.1.2 Impactos sobre os recursos hídricos

Os impactos sobre a disponibilidade dos recursos hídricos são os mais freqüentes e podem ser classificados em impactos negativos e impactos positivos. Com o início do rebaixamento do nível d'água ocorre uma maior disponibilização da água subterrânea, pois é necessário retirar mais água do que a recarga, explotando toda a reserva renovável do aquífero e parte da reserva geológica.

Entretanto, muitas vezes a recarga está limitada pelas condições geométricas naturais do aquífero, a qual é modificada com o início do rebaixamento e tende a aumentar, pois aumenta o volume de aquífero não saturado.

O aumento da disponibilidade é localizado, concentrado nas estruturas de drenagem da mina, no entorno das surgências e estruturas de captação associadas ao aquífero drenado sofrendo impactos negativos. No balanço geral da mina e entorno, durante da fase de rebaixamento, a disponibilidade dos recursos hídricos é sempre maior. A solução do problema passa a ser uma questão de gestão dos recursos hídricos, e sempre que for bem gerenciado o impacto é positivo.

No decorrer da fase de descomissionamento da mina, dependendo da solução adotada, a disponibilidade dos recursos hídricos tende a ser menor, pois é necessário a recuperação do aquífero. Nas minas associadas a aquíferos extensos a recuperação é lenta e consome toda a recarga. As surgências e estruturas de captação afetadas pelo rebaixamento do nível d'água não têm uma recuperação imediata e nesta fase caso não ocorra uma boa gestão o impacto pode vir a ser negativo.

De um modo geral as escavações mineiras possibilitam a formação de bons reservatórios de água e excelentes estruturas de recarga. Em minas a céu aberto de médio porte podem ser formados lagos com capacidade da ordem de 50 milhões de metros cúbicos de água. O armazenamento de água nas antigas escavações constitui uma excelente estrutura de reservação de água subterrânea e superficial voltada à gestão dos recursos hídricos.

4.7.2 Prognóstico dos impactos

O prognóstico dos impactos deve ser realizado a partir do projeto de rebaixamento buscando identificar as surgências naturais, drenagens, poços tubulares e demais estruturas de captação de água subterrânea que serão afetadas. Deve ser verificado também se o rebaixamento do nível d'água poderá afetar aquíferos rasos e por conseqüência a flora, às vezes em pontos localizados. Afóra os impactos sobre a quantidade de água, verifica-se também o potencial de geração de drenagem ácida, recalques no terreno, lançamento de águas salinas, etc.

Nos impactos sobre a disponibilidade dos recursos hídricos a melhor ferramenta de predição é o modelo numérico, que permite avaliar a extensão do rebaixamento do nível d'água e quantificar os decréscimos de vazão. Na simulação dos impactos os modelos devem ser conservadores, simulando sempre as piores situações, é preferível superestimar os impactos que subestimar.

4.7.3 Medidas mitigadoras

As medidas mitigadoras geralmente consistem na reposição de água em qualidade e quantidade compatíveis com a situação anterior ao rebaixamento do nível d'água. Essas medidas podem ser; a reposição de água por simples adução, a perfuração de poços de abastecimento, a recarga artificial, programas de conservação da água no solo, etc.

Como no início do rebaixamento do nível d'água existe uma maior disponibilidade de água, devido ao próprio bombeamento, e na fase de descomissionamento uma maior capacidade de armazenamento de água, essa reposição torna-se uma questão de gestão. Entretanto, se existem problemas com a qualidade da água, na forma de alterações da qualidade como a drenagem ácida ou o bombeamento de água salina, as medidas mitigadoras devem ser bem analisadas, pois podem inviabilizar a sustentabilidade do empreendimento.

4.8 MONITORAMENTO - PROGRAMA DE CONTROLE AMBIENTAL

O Programa de Controle Ambiental é parte fundamental de qualquer projeto de rebaixamento do nível d'água, pois permite o acompanhamento passo a passo do empreendimento. Este programa tem seu início antes do rebaixamento, na fase de projeto, continua na fase de operação e termina somente com o descomissionamento da mina.

4.8.1.1 Projeto ou implantação da rede de monitoramento

Para a execução do projeto de rebaixamento do nível d'água é necessária a implantação da rede de monitoramento, a qual reproduz também as condições iniciais dos recursos, anteriores às interferências. Conforme mencionado anteriormente é fundamental que o monitoramento compreenda todo o entorno da mina, mesmo naquelas áreas que do ponto de vista técnico não exista risco de impactos.

4.8.1.2 Operação do rebaixamento

As operações de rebaixamento devem ser exaustivamente monitoradas, não se pode limitar o monitoramento ao entorno da mina. As vazões explotadas, as estruturas de captação, as descargas de água tem que ser monitoradas, bem como a eficiência do próprio rebaixamento do nível d'água na mina.

Ao longo da vida da mina novas informações são aportadas com o avanço das escavações, modificando os modelos geológico e hidrogeológico. Conseqüentemente, modifica-se também o planejamento de lavra, em muitas situações modifica-se até mesmo o método de lavra. Dessa forma, para atender ao planejamento são necessárias recalibrações do modelo numérico, as quais contam com um crescente banco de dados hidrogeológicos, que será um excelente subsídio no projeto final de descomissionamento.

O planejamento do desaguamento na fase de operação deve estar muito atento ao momento em que serão necessárias a implantação de medidas mitigatórias, cuja predição é realizada pelos modelos numéricos. Quando se tem a previsão de um determinado impacto sobre os recursos hídricos, a reposição deve ser iniciada antes que este de fato ocorra, buscando evitar danos a terceiros ou ao meio ambiente.

4.8.1.3 Descomissionamento

O acompanhamento do descomissionamento do rebaixamento do nível d'água de uma mina ainda é uma atividade pioneira no Brasil, tem seu início nas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Ainda estamos apreendendo com esta atividade. A primeira mina que entrou em fase de descomissionamento foi a Águas Claras (Grandchamp, 2003) e o monitoramento da recuperação do aquífero e do enchimento do lago formado na cava de exaustão vão fornecer subsídios fundamentais para o planejamento dos trabalhos futuros.

Em linhas gerais, na fase de descomissionamento o controle ambiental além da recuperação do aquífero e monitoramento da qualidade da água deve considerar também o acompanhamento da operação das estruturas de mitigação e o planejamento do uso final da cava.

No Brasil, ainda não foram realizadas recalibrações periódicas dos modelos numéricos da recuperação dos aquífero e enchimento das cavas, foram realizadas apenas simulações com modelos calibrados durante a fase de rebaixamento do nível d'água. No presente momento, este é um dos desafios dos hidrogeólogos brasileiros que trabalham com o desaguamento em mineração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Leonards, G.A. – 1962 – Foundation Engineering. McGraw-Hill Book Company, INC. 1962
Grandchamp, C.A.P. – 2003 – Estudo da recuperação do Aquífero Cauê e do enchimento da cava da Mina de Águas Claras, Serra do Curral, município de Nova Lima, MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 148 pp.