

IMPACTE AMBIENTAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELA DRENAGEM ÁCIDA DE ROCHAS NA EXPLORAÇÃO DE MINAS

Carlos Dinis da Gama¹, Vidal Navarro Torres² & Fernando Vicente Barroso³

RESUMO - A drenagem da água ácida de rochas resulta da oxidação dos minerais sulfurosos e lixiviação de metais associados, provenientes das rochas quando expostas ao ar e água. Este processo geralmente caracteriza-se por valores de pH inferiores a 7 até 1.5.

Numa operação mineira as fontes primárias principais de drenagem ácida são as pilhas de escombros, as pilhas de lixiviação, as barragens de rejeitados, e as frentes de exploração subterrânea.

Na mina da Panasqueira os minerais responsáveis pela acidez e poluição da água subterrânea são a Pirite, Cassiterite, Calcopirite, Blenda, Topázio, Apatite, Fluorite, Mica e Marcassite.

O pH da água no ambiente subterrâneo oscila entre 6.5 e 3.0, sendo o valor do pH igual a 4 no ponto de descarga ao exterior com altas concentrações de metais pesados, portanto o tipo de água correspondente à drenagem ácida de rochas.

Devido à alteração das condições naturais da água subterrânea pela exploração subterrânea, tendo por consequência a acidificação e poluição na mina da Panasqueira, foi identificado um impacte ambiental leve a alto para a rega e piscicultura e alta para consumo humano.

ABSTRACT - Acid water drainage of rocks results from the sulphide mineral oxidation and associated metal leaching, when they are exposed to air and water. This process is generally characterized by values of pH below 7 until 1.5.

In a mining operation the primary sources of acid water drainage are originated in leaching piles, tailings dams, and stopes in underground exploitation.

In the Panasqueira mine the ores causing acidity and pollution of the underground water are the Pyrite, Cassiterite, Chalcopyrite, Sphalerite, Topaz, Apatite, Fluorite, Mica and Marcasite.

The pH of the water in the underground environment oscillates between 6.5 and 3.0, with a pH of 4 in exterior discharge point with high metal concentrations and, therefore this type of water corresponds to the acid draining of rocks.

¹ Presidente do centro de Geotecnia do IST, Av. Rovisco Pais ,1 1049-001 Lisboa Portugal , Telef. 351.21.841 7448, dgama@ist.utl.pt

² Investigador do Centro de Geotecnia do IST, Av. Rovisco Pais ,1 1049-001 Lisboa Portugal , Telef. 351.21.841 7448, vnavarr@ist.utl.pt

³ Estudante de Mestrado do IST, Av. Rovisco Pais ,1 1049-001 Lisboa Portugal , Telef. 351.21.841 7448, pcm4028@popsrv.ist.utl.pt

Due to alteration of the natural conditions of the underground water, and the consequent acidification and pollution in Panasqueira mine, environment impacts were detected in drainage waters, low to high for irrigation, and high for fish and quality human consumption.

Palavras-chave: Impacte, água subterrânea, mina

1. ALTERAÇÃO DA QUALIDADE NATURAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA POR DRENAGEM ÁCIDA DAS ROCHAS

1.1. Fontes da drenagem ácida das rochas

A drenagem ácida de rochas resulta da oxidação de minerais sulfurosos e lixiviação de metais associados, que provem de rochas sulfurosas quando são expostas ao ar e água. Este processo é função do tempo e compreende o processo de oxidação quer química quer biológica, tais como a precipitação e o encapsulamento.

A Fig. 1 ilustra o processo da drenagem ácida de rochas em função do pH e o tempo, compreendendo três etapas.

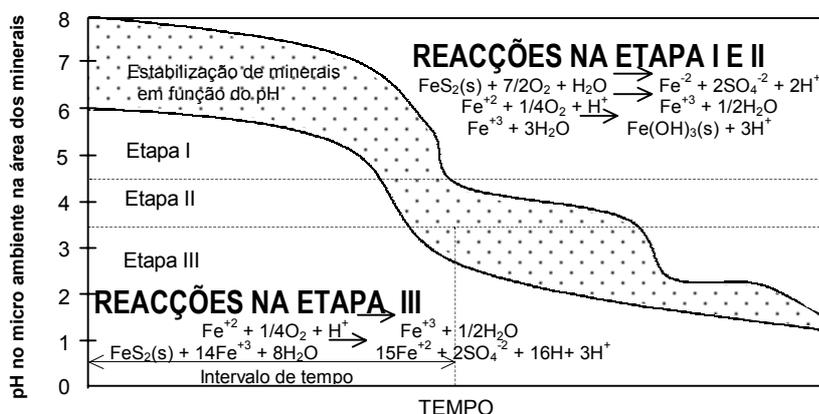


Figura 1: Esquema das etapas em drenagem ácida de rochas (L. Summers *et al*, 1999)

Este processo geralmente caracteriza-se por valores de pH inferiores 7 até 1.5, alcalinidade decrescente e acidez crescente, altas concentrações de sulfato, metais e todos os sólidos dissolvidos (Tabela 1).

Tabela 1: Etapas no processo da drenagem ácida de rochas

Etapas	Descrição
I	Ao produzir-se a oxidação química dos minerais sulfurosos e gerar-se acidez, existe uma alcalinidade suficiente (CaCO_3) para neutralizar a acidez e precipitar o ferro em forma de hidróxido e ainda manter água a que escoar sobre a rocha neutra a alcalina ($\text{pH} > 7$).
II	Ao diminuir a fonte alcalina (esgotamento ou inacessibilidade aos minerais carbonatados, CaCO_3) o pH da água decresce desde 4.5 a 3.5 (acidez algo alto) e ocorrem reacções de oxidação químicas e biológicas, água drena com altas concentrações de Fe^{2+} e SO_4^{2-} .
III	Ao descer o pH a acidez aumenta, as reacções de oxidação química transformam-se em biologicamente catalisáveis e o Fe^{2+} transforma-se em Fe^{3+} . A água que drena é ácida ($\text{pH} < 3.5$) com SO_4^{2-} e metais dissolvido em alta concentração.

1.2. Alteração da qualidade da água em explorações mineiras subterrâneas

Numa operação mineira as fontes primárias principais de drenagem ácida são as pilhas de escombros, as pilhas de lixiviação, as barragens de rejeitados, as frentes de exploração subterrânea e de céu aberto ou pedreiras e outras actividades como a construção de estradas.

Os minerais sulfurosos estão geralmente debaixo da capa do solo e do nível freático, que dentro de certas condições naturais existe um mínimo contacto com o oxigénio, permitindo a geração da água ácida com uma velocidade muito baixa, pelo que o efeito sobre a qualidade da água é insignificante. Mas quando a rocha sulfurosa é exposta ao ar e à água, reagem acelerando a velocidade de geração ácida e consequentemente ocasionando o risco ambiental.

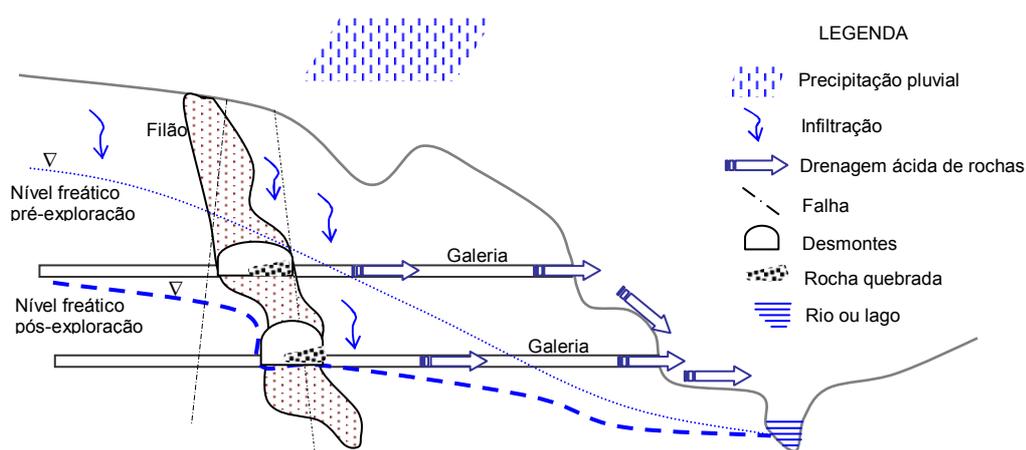


Figura 2: Água subterrânea e drenagem ácida de rochas

Tabela 2: Minerais e produtos aquosos de oxidação completa(R. W. Lawrence , et al 2000)

Metal	Mineral	Produto da Oxidação Iônica
Ferro	Pirite, FeS ₂	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Pirrotite, Fe _{1-x} S	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Marcassite FeS ₂	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Cobre	Calcopirite, CuFeS ₂	Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Covelite, CuS	Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	Calcosina, Cu ₂ S	Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	Bornite, Cu ₅ FeS ₄	Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Zinco	Blenda, ZnS	Zn ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Marmatite, (Zn,Fe)S	Zn ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Chumbo	Galena, PbS	Pb ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Níquel	Milerite, NiS	Ni ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	Pentlandite, (Fe, Ni) ₉ S ₈	Ni ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Manganés	Rodocrosite, MnCO ₃	Mn ²⁺ , Mn ³⁺ , Mn ⁴⁺
	Alabandite, MnS	Mn ²⁺ , Mn ³⁺ , Mn ⁴⁺
Molibdênio	Molibdenite, MoS ₂	MoO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Arsênio	Arsenopirite, FeAsS	AsO ₄ ³⁻ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Realgar, AsS	AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Orpimento, As ₂ S ₃	AsO ₄ ³⁻ , Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Tetraedrite, Cu ₁₂ (Sb,As) ₄ S ₁₃	Cu ²⁺ , SbO ₃ ⁻ , AsO ₂ ³⁻ + SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Mercúrio	Cinábrio, HgS	Hg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ + H ⁺
Cobalto	Cobaltite, CoAsS	Co ²⁺ , AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺

Os minerais mais comuns em minas metálicas que podem ser activados pela oxidação e lixiviação gerando assim drenagem ácida das rochas, estes são apresentados na Tabela 2. Muitas vezes os minerais de cobre podem estar associados com zinco, arsênio e níquel e em menor grau com cádmio e chumbo. Em muitos jazigos estes metais apresentam-se como sulfuretos que incluem calcopirite, pirite, arsenopirite, galena e esfalerite.

Os metais associados com minerais de cobre e ouro tem a tendência a apresentar-se num maior estado de oxidação, com alguns metais em forma de sulfossais.

2. DRENAGEM ÁCIDAS DAS ROCHAS

2.1. Processo da drenagem ácida das rochas

Com o objectivo de tomar as medidas correctivas de um possível risco ambiental por drenagem ácida das rochas é importante avaliar os factores que controlam a velocidade e dimensão da geração do ácido, os processos químicos e os reagentes intervenientes (Fig. 3).

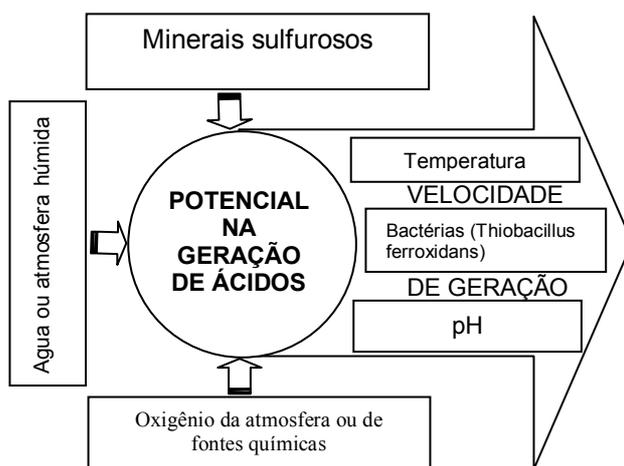


Figura 3: Componentes potenciais para a geração do ácido e factores que controlam a velocidade

As reacções da produção do ácido expressam-se geralmente como a oxidação em sequência da pirite (Fig. 4) embora que a pirrotite e a marcassite também são considerados como fontes do drenagem ácida de rochas, sendo estes dois minerais também muito comuns.

Todo o mineral sulfuroso tem potencial de se oxidar e lixiviar metais. Os minerais como a Calcopirite, enargite, galena, blenda e arsenopirite podem originar a libertação da acidez e metais dissolvidos em água pela acção da acidez gerada pelo sulfuro de ferro associado.

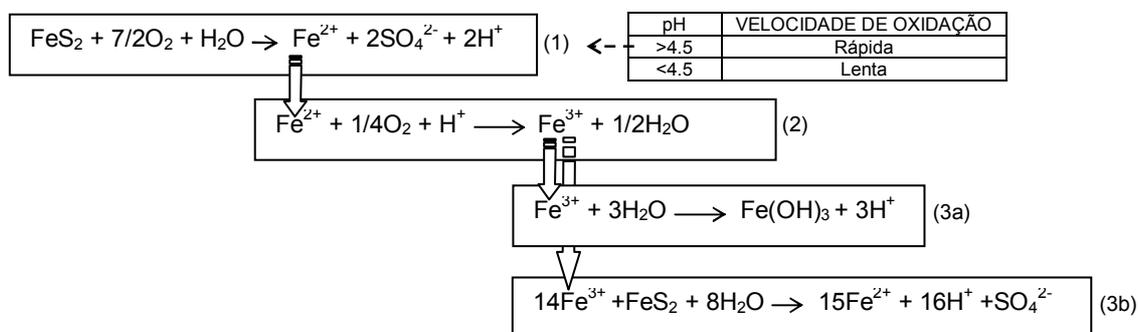


Figura 4: Sequência da reacção de oxidação da pirite na drenagem ácida das rochas

Na sequência (2) da reacção da pirite, a velocidade de produção do ferro férrico (Fe^{3+}) controla o processo total de oxidação, mas por catálise biológica esta reacção é mais rápida (*Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* e *Sulfolobus*).

A velocidade da oxidação bacteriana é função de: temperatura, pH (Fig. 5), disponibilidade do oxigénio, do dióxido de carbono e dos nutrientes (N_2 , P) e área superficial do mineral sulfuroso exposto.

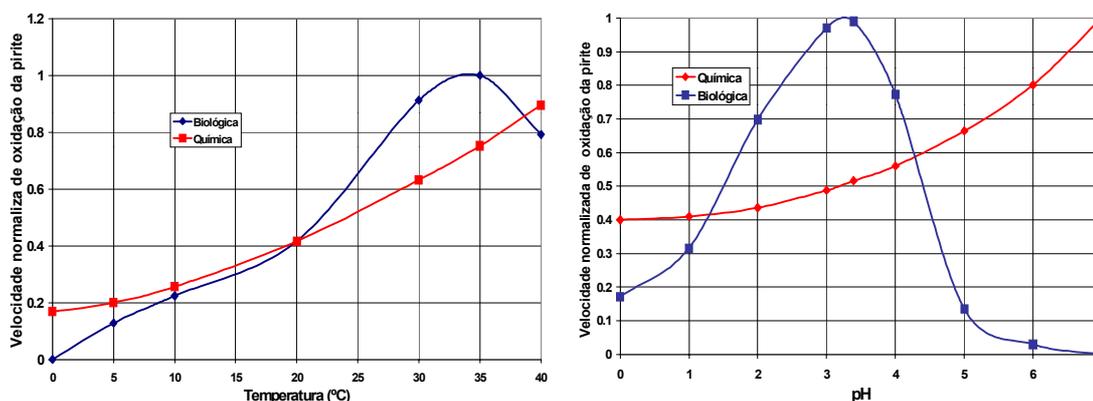


Figura 5: Efeito da temperatura e pH á velocidade de oxidação química e biológica (L. Summers *et al*, 1999)

Em termos gerais a velocidade de oxidação quer química quer biológica aumenta com o incremento da temperatura, portanto uma oxidação contínua pode criar condições favoráveis para o crescimento das bactérias oxidantes. A produção de H^+ e a consequente diminuição do pH, até um nível adequado para as bactérias que oxidam o sulfato de ferro, a produção de Fe^{3+} e o aumento de temperatura devido ao processo exotérmico, originam as condições ideais para que se dê a oxidação biológica das bactérias.

A quantidade de acidez que se liberta da oxidação dum mineral sulfuroso pode-se calcular a partir das equações mostradas na figura 184. Por exemplo a oxidação de 1 mol de pirite produz 4 moles de acide (4H^+) a partir das equações indicadas a seguir.



No processo da lixiviação, a solubilidade de muitos metais aumenta à medida que o pH diminui inferiormente a 7, e quando o pH aumenta alguns dos metais em solução podem precipitar.

Em alguns casos a drenagem contaminado também serve como lixiviante, promovendo a dissolução dos minerais oxidados que podem ser inertes ou de baixa solubilidade.

Em aberturas subterrâneas já existentes, como no caso de minas em operação, na etapa da caracterização da qualidade da água é recomendável realizar um ensaio “in situ” e amostragem sistemática em pontos ou estações de pelo menos uma por cada afluyente (galeria ou rampa secundária) á galeria ou rampa de drenagem principal e principalmente na saída á superfície do nível de drenagem (sistema de túnel ou galeria), assim também a montante e a jusante da água superficial da bacia onde se descarregará água de mina (Fig. 2) que poderá ser uma ribeira , rio, lago ou mar.

Os principais poluentes relacionados com a drenagem de água subterrânea são os sólidos em suspensão, o nível de acidez, concentração de metais e óleo, combustível e gordura de equipamentos usados entre outros.

2.2. Processo de amostragem

Para o processo de amostragem é conveniente tomar medidas de precaução contra a contaminação de amostras, seleccionando os recipientes apropriados, lavando-os e manipulando adequadamente, em concordância com os padrões recomendados, como por exemplo de US EPA 1993.

Tabela 3: Volume, condição, objectivos de análise de amostras
(Baseado em US EPA 1993)

Recipiente (litros)	Condição da amostra	Objectivo da análise	Tempo de armazenamento Max.
1	Não filtrada, não preservada	Parâmetros físicos e iões principais	24 h
½	Não filtrada, não preservada	Metais totais e sólidos totais dissolvidos	6 meses
½	Filtrada e preservada	Metais dissolvidos	6 meses

O volume de amostra para análise de diferentes parâmetros pode variar segundo os laboratórios, mas em termos gerais de cada estação de amostragem será suficiente três recipientes (Tabela 3), os quais devem ter sido previamente lavados com ácido. Quanto às amostras estas podem ser simples ou compostas.

As amostras simples usam-se quando: o caudal de água é constante ou intermitente e quando as amostra compostas podem ocultar algumas das condições extremas (pH, temperatura).

As amostras compostas são formadas por amostras individuais tomadas em diferentes momentos, neste caso o volume de cada amostra individual (V_i) por unidade de caudal instantâneo

no momento em que a amostra i é tomada (Q_i), sendo expressa pela equação a seguir, onde V é o volume total da amostra composta, n é número de amostras a misturar e Q_m é o caudal médio.

$$V_i/Q_i = V/n \cdot Q_m$$

Para medições “in situ” existem sondas manuais ou portáteis que determinam o pH, temperatura, condutividade, oxigénio dissolvido, o grau de limpidez e o sulfato.

O processo de amostragem da água subterrânea nas aberturas existentes deverão ser colhidas em pelo menos uma estação por cada afluente (galeria ou rampa secundária) à galeria ou rampa de drenagem principal e necessariamente na saída à superfície do nível de drenagem (sistema de túnel ou galeria) tal como ilustra a figura 6. Estas estações de medição podem ser utilizadas também na caracterização da qualidade de água.

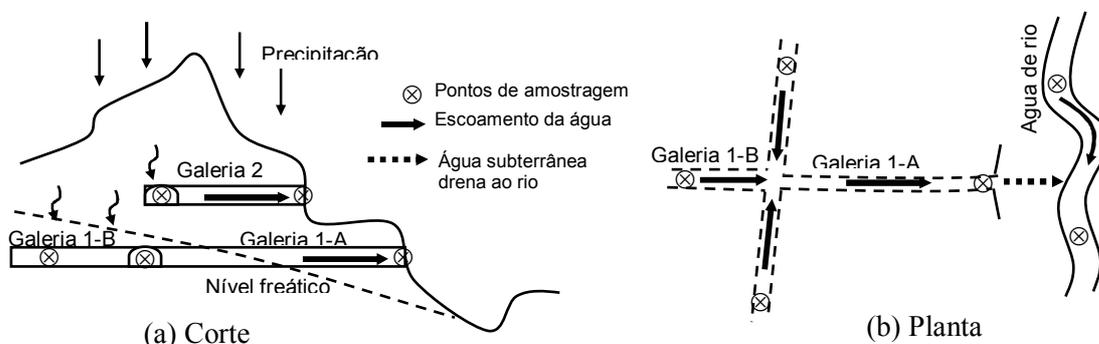


Figura 6: Esquema das estações de medição e amostragem de água subterrânea na etapa da caracterização

Este procedimento permitirá caracterizar áreas dos trabalhos subterrâneos com maior ou menor caudal de água e também, correlacionar com a litologia e fracturas ou falhas existentes no maciço rochoso.

3. ÁGUA SUBTERRÂNEA DA MINA DA PANASQUEIRA

A Mina de Panasqueira, propriedade da empresa Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S. A. Integrante do grupo Avocet, produtora de Volfrâmio mediante o método de exploração subterrânea de câmaras e pilares a um ritmo médio de umas 320,000 toneladas de mineral e 1330 toneladas de WO_3 por cada ano, localiza-se na vertente sul da cordilheira montanhosa da Serra da Estrela a uma altitude de cerca de 700 metros, na aldeia de Barroca Grande, a 60 quilómetros a Este de Coimbra e a 250 quilómetros a Noroeste de Lisboa .

O maciço rochoso é constituído, fundamentalmente, por xistos, os quais apresentam diferentes graus de metamorfismo, originado por uma intrusão granítica subjacente e pelos filões quartzosos onde residem as mineralizações úteis.

A zona mineralizada consiste em filões quartzosos, sub-horizontais, que se sobrepõem e que preenchem juntas de fracturas ocorrentes em rochas *xistosas*. Tais filões têm a possança média de 30 a 40 cm. Actualmente o mineral principal objecto de exploração é volframite. Para além deste mineral ocorre uma grande variedade de outros minerais tais como, Pirite, Cassiterite, Calcopirite, Blenda, Topázio, Apatite, Fluorite, Mica e Marcassite.

3.1. Caracterização da qualidade da água subterrânea

A zona da localização da mina tem uma precipitação média de 1602 mm/ano, com uma variação média mensal indicada na figura 7 para o ano hidrológico de 1998/99 (Instituto Nacional de Água, INAG, do Ministério do Ambiente).

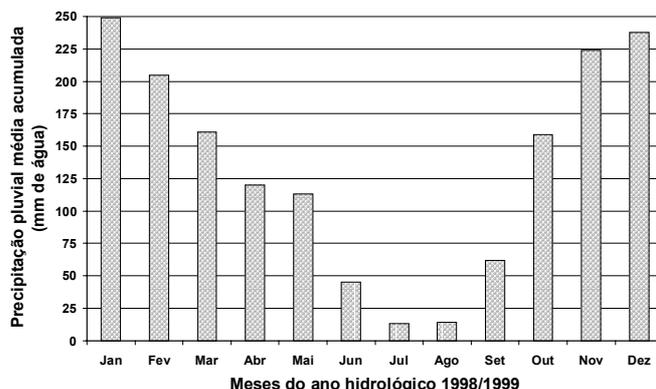


Figura 7: Precipitação média mensal do ano hidrológico de 1998/99 (elaborado com registos da Estação Meteorológica 12L/03 de Covilhã do INAG – DHRH SNIR –Ministério do Ambiente, 2000. <http://www.inag.pt/>)

Para caracterizar a quantidade e qualidade da água subterrânea presente na mina da Panasqueira, realizaram-se medições de caudal e amostragem de água presente em todas as frentes de trabalho, compreendidas entre o nível 1 e nível 3, em estações adequadamente definidas (Fig. 8) na data compreendida entre 12 a 17 de Janeiro de 2001, baseado nos procedimentos técnicos indicados.

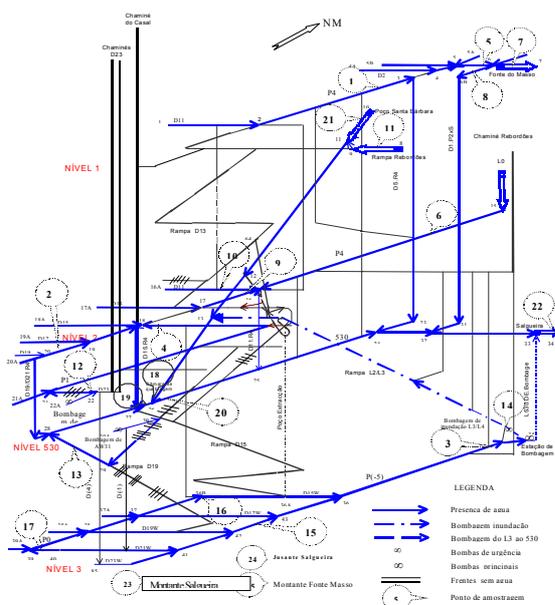


Figura 8: Estações de amostragem de água no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira (V. Navarro Torres e C. Dinis da Gama, 2001)

Os resultados da análise realizada no laboratório da mina da Panasqueira das amostras de água, obtidas em ambiente subterrâneo, e a montante e jusante (à descarga pela galeria de Fonte do Masso e da Salgueira) da ribeira de Bodelhão estão ilustrados na figura 9 e figura 10.

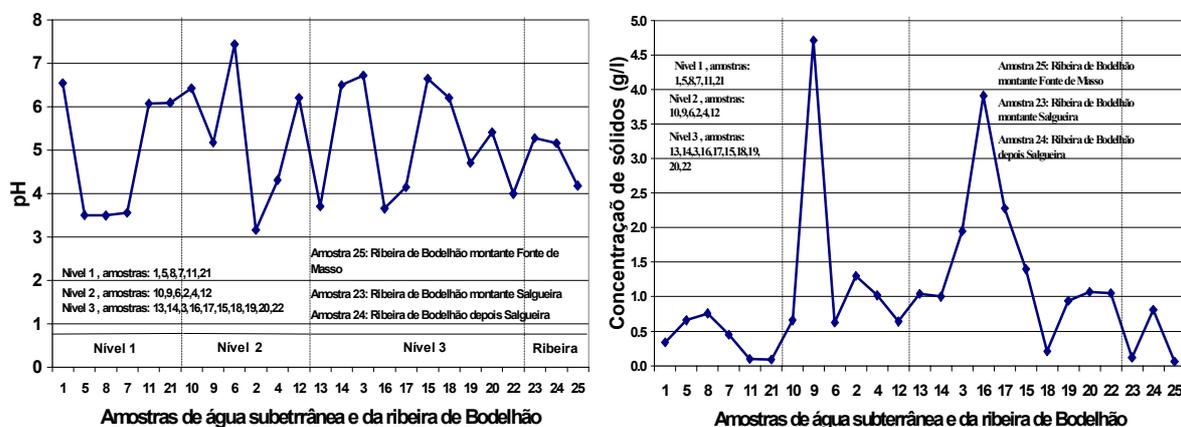


Figura 9 : pH e turbidez da água subterrânea e da ribeira de Bodelhão (V. Navarro Torres, 2001)

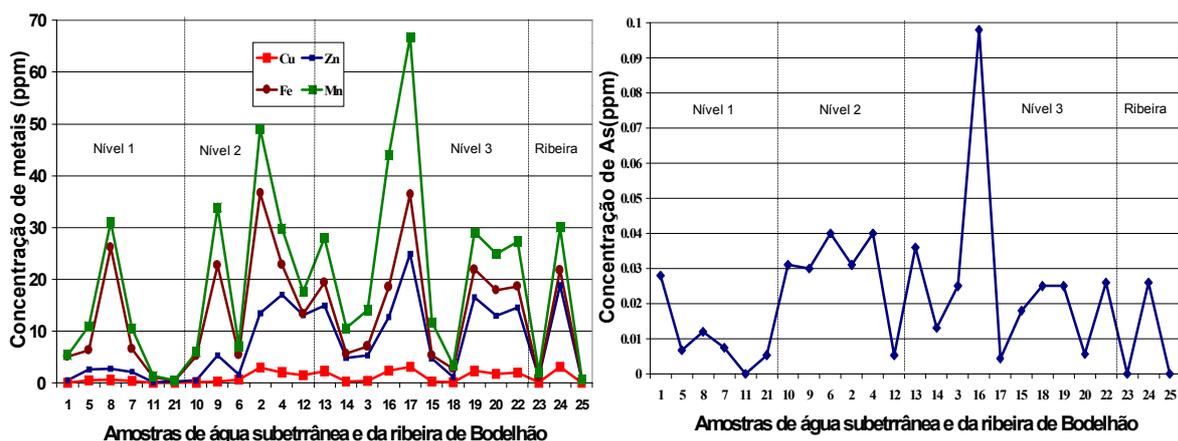


Figura 10: Concentração de metais da água subterrânea e da ribeira de Bodelhão(V. Navarro Torres, C. Dinis da Gama, 2001)

Como era de esperar o pH da água no ambiente subterrâneo oscila entre 6.5 e 3.0 sendo de um pH de 4 no ponto de descarga ao exterior, portanto o tipo de água correspondente à drenagem ácida de rochas. A acidez da água na ribeira de Bodelhão tem uma oscilação do pH entre 4 e 5, o qual permite concluir que esta água é também ácida.

No ambiente subterrâneo do nível 1 existe uma turbidez baixa em relação ao nível 2 e 3, mas a tendência para um valor superior apresenta-se no nível 3 (nível de operação) sendo ligeiramente menor no nível 2 (operações relacionadas á extracção). Na ribeira de Bodelhão existe muito pouca concentração de sólidos.

Os níveis 2 e 3 apresentam maiores concentrações de metais que o nível 1 e a ribeira de Bodelhao. Na ribeira de Bodelhão a montante do ponto de descarga da galeria da Salgueira apresenta menor concentração de metais em relação a montante da Fonte do Masso e a jusante da Salgueira.

3.2. Identificação do impacte ambiental

É obvio que não tem sentido realizar a avaliação do risco ambiental da qualidade da água no ambiente subterrâneo, mas a partir do ponto de descarga existe risco ambiental da água ácida pelo facto de contaminar a água superficial que se escoa na ribeira do Bodelhão, portanto a avaliação do risco ambiental inclui-se a montante desta ribeira. A identificação do risco ambiental, pela qualidade da água (Tabela 5) está baseada nos Valores Limite Admissíveis estipulados pelo Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, aplicando-se a matriz base proposta na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz base para a avaliação do risco ambiental subterrâneo devido ao caudal de água

Nível de risco	pH			Concentração de metais
	Rega	Consumo Humano	Piscícola	
Leve	$4.5 \geq \text{pH} > 3.5$	$6.5 \geq \text{pH} > 5.5$	$6 \geq \text{pH} > 5$	$1.05C_{VMA} \geq C_r > C_{VMA}$
Moderado	$3.5 \geq \text{pH} > 2.5$	$5.5 \geq \text{pH} > 4.5$	$5 \geq \text{pH} > 4$	$1.10C_{VMA} \geq C_r > 1.05C_{VMA}$
Alto	$\text{pH} \leq 2.5$	$\text{pH} \leq 4.5$	$\text{pH} \leq 4$	$C_r > 1.10 C_{VMA}$

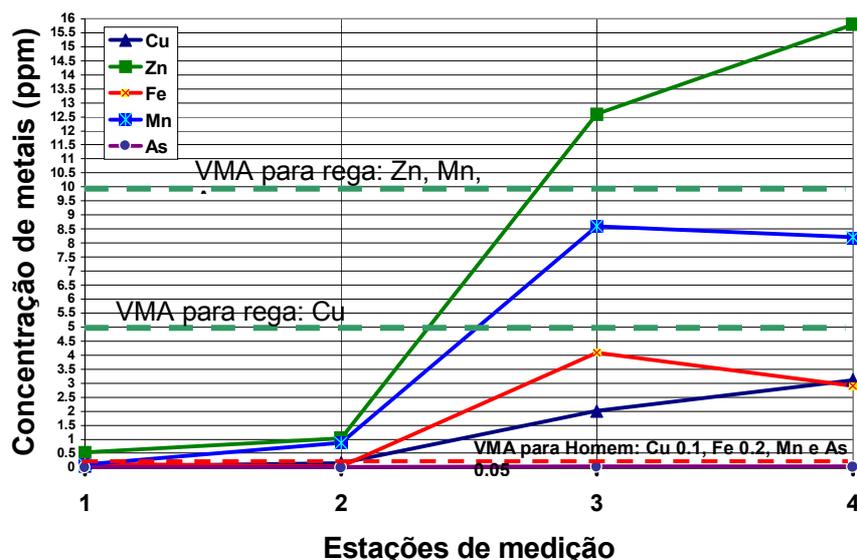


Figura 2.87: Concentração de metais no ponto de descarga de DAR e água da ribeira de Bodelhão (V. Navarro Torres, C. Dinis da Gama, 2001)

A matriz de impacte ambiental e as ilustrações na figura 2.86 e figura 2.87 mostram que na altura das medições realizadas, a drenagem de água ácida de rochas descarregada pelas galerias de Fonte do Masso e da Salgueira poluem a água da ribeira de Bodelhão com um nível moderado para a rega e alto para consumo humano e piscícola, pode-se concluir também que existe um alto risco ambiental para os recursos animais na água da ribeira. Outra conclusão é de que água subterrânea descarregada pela Fonte do Masso tem muito pouca influência na contaminação da água da ribeira.

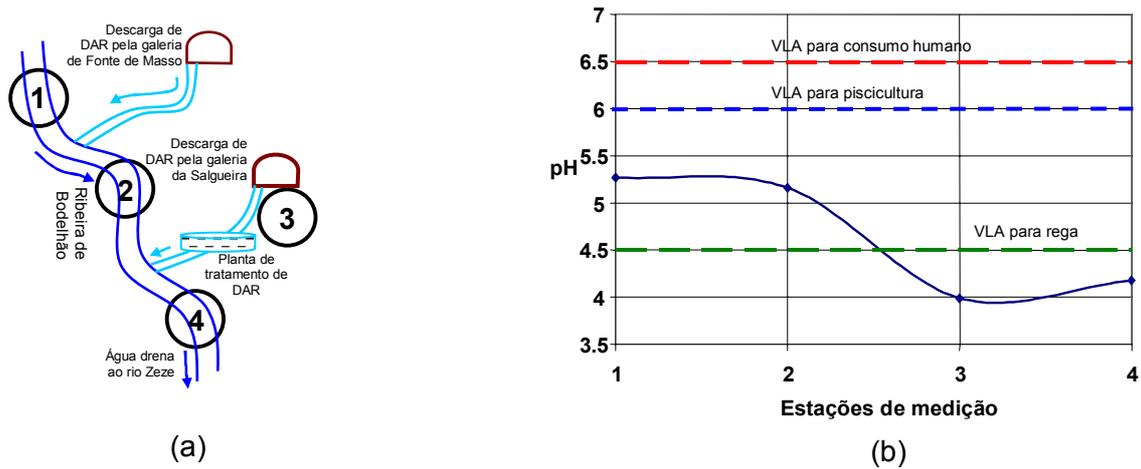


Figura 2.86: Estações de medição do pH e concentração de metais (a) e tendência do pH (b) na descarga da água ácida de mina, e da ribeira de Bodelhão (V. Navarro Torres, C. Dinis da Gama, 2001)

Tabela 5: Matriz de impacto ambiental pela qualidade da água subterrânea

Localização das águas	Nº	Poluente	Registro C _r (ppm)	Nível do risco ambiental				
				Para rega		Para consumo humano		Para peixes
				C _{VMA} (ppm)	Risco	C _{VMA} (ppm)	Risco	Risco
Ribeira de Bodelhão, montante à Fonte do Masso (A primeira descarga de água ácida subterrânea pela galeria Fonte do Masso)	1	pH	5.27	4.5 – 9.0	-	6.5 – 8.5	∇	∇
		Cu	0.04	5	-	0.10	-	-
		Zn	0.52	10	-	-	-	-
		Fe	0.13	-	-	0.20	-	-
		Mn	0.09	10	-	0.05	◆	-
		As	0.00	10	-	0.05	-	-
Ribeira do Bodelhão, montante à Salgueira e jusante de Fonte do Masso (A segunda descarga de água ácida subterrânea pela galeria Salgueira)	2	pH	5.16	4.5 – 9.0	-	6.5 – 8.5	⊗	∇
		Cu	0.15	5	-	0.10	◆	-
		Zn	1.04	10	-	-	-	-
		Fe	0.03	-	-	0.20	-	-
		Mn	0.87	10	-	0.05	◆	-
		As	0.00	10	-	0.05	-	-
Galeria da Salgueira Descarga de água subterrânea DAR	3	PH	3.99	4.5 – 9.0	∇	6.5 – 8.5	◆	◆
		Cu	2.01	5	-	0.10	◆	◆
		Zn	12.60	10	◆	-	-	◆
		Fe	4.09	-	-	0.20	◆	-
		Mn	8.60	10	-	0.05	◆	-
		As	0.026	10	-	0.05	-	-
Ribeira de Bodelhão, a jusante da Salgueira (A água drena no sentido ao rio Zêzere)	4	pH	4.18	4.5 – 9.0	∇	6.5 – 8.5	◆	⊗
		Cu	3.11	5	-	0.10	◆	◆
		Zn	15.80	10	◆	-	-	◆
		Fe	2.91	-	-	0.20	◆	-
		Mn	8.20	10	-	0.05	◆	-
		As	0.026	10	-	0.05	-	-

∇ Leve

⊗ Moderado

◆ Alto

4. CONCLUSÕES

A exploração de minas subterrâneas ao expor grandes superfícies abertas do maciço rochoso, permite gerar a Drenagem Ácida das Rochas pela acção do ar e água.

O grau de acidez ou alcalinidade da água depende da litologia e mineralogia da área em exploração, sendo a pirite o principal poluente.

Esta drenagem ácida de água ao ser descarregada para as águas superficiais, vão alterar a sua composição natural gerando impacte ambiental muito importante.

No caso da mina da Panasqueira identificou-se um nível de impacte ambiental médio a alto nas águas da ribeira do Bodelhão, provocando a acidificação destas águas até um pH de 4 e poluição com concentrações altas de Cu, Zn, Fe, Mn, As.

5. REFERÊNCIAS

- R.W. Lawrence, T W. Higgs et al, 1998 . Treatment of Acid Mine Waters and Industrial Effluents, H.A. Simons Ltd., Vancouver, Canada.
- Linda Summers Broughton et. Al, 1999. Guia ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas. Lima Perú.
- V. Navarro Torres, C. Dinis da Gama, 2001, Avaliação e mitigação do risco ambiental subterrâneo pela presença de água na mina da Panasqueira (Portugal).
- V. Navarro Torres, C. Dinis da Gama, 2001, Avaliação do impacte ambiental no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira.