AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DO RISCO AMBIENTAL SUBTERRÂNEO PELA PRESENÇA DE ÁGUA NA MINA DA PANASQUEIRA (PORTUGAL)

Carlos Dinis da Gama[11], Vidal Navarro Torres[1,3], Conceição F. de Matos[1,3],
Luís Lopes[2], Edmundo Lopes Nobre[2]

Resumo - O presente estudo considera a componente água do ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira (Portugal) e compreende a avaliação do impacte ambiental subterrâneo, que consiste em caracterizar a situação existente, identificar os níveis do impacte ambiental nos diferentes locais e procurar alternativas que permitam mitigar ou reduzir tais impactes a níveis aceitáveis.

Abstract - The present study considers water as a component of the underground environment of Panasqueira mine (Portugal) and evaluates their impacts by means of characterising the existing situation, the identification of their levels of impact on the underground environment in the mine and to look for alternatives that allow to mitigate or to reduce the excessive levels when their occur.

Palavras chave: Ambiente subterrâneo, avaliação do impacte ambiental, água subterrânea, mitigação.

1. INTRODUÇÃO

No presente artigo aborda-se a avaliação e mitigação do risco ambiental subterrâneo pela alteração das condições naturais da água presente devido a trabalhos de exploração, que é apresentada no ordem seguinte: definição do âmbito de acção, caracterização de água subterrânea, identificação do nível do impacte ambiental e procura de alternativas de medidas correctivas.

[1] Instituto Superior Técnico; Departamento de Engenharia de Minas e Georrecursos; Av. Rovisco Pais 1; 1049-001; Lisboa; Portugal; Telefone + 351 218417447; Fax +351 218419035; E-mail: pcdinis@popsrv.ist.utl.pt.

[2]Minas da Panasqueira; Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S.A.; Barroca Grande; 6225-051; Ald. S. Francisco de Assis; Portugal; Telefone +351 275659100; Fax +351 275659119.

[3]Praxis XXI, Ministério da Ciência e da Tecnologia, Lisboa, Portugal

2. ÂMBITO DE ACÇÃO

2.1. Localização geográfica

A Mina de Panasqueira, que é propriedade da empresa Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S. A., produtora de Volfrâmio, 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 leste de Coimbra e a 250 quilómetros a noroeste de Lisboa (Fig. 1).

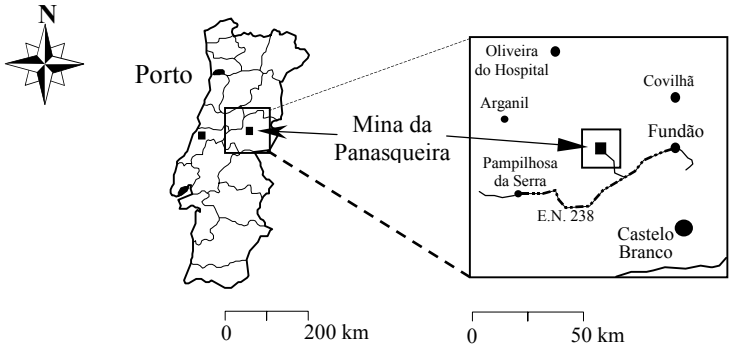

Fig.1: Localização geográfica da mina da Panasqueira

2.2 Maciço rochoso e jazigo mineral

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(ver Fig. 2).

A zona mineralizada consiste em filões quartzosos, sub-horizontais, que se sobrepõem e que preenchem juntas de fracturas ocorrentes em rochas *xistosas.* Tais filões tem a possança média de 30 a 40 cm. Actualmente o mineral principal objecto de exploração é Volframite.

Estruturalmente, na zona ocorrem 4 grandes falhas no sentido Norte-Sul e 3 outras grandes falhas no sentido Este-Oeste, todas elas de atitude sub-horizontal.

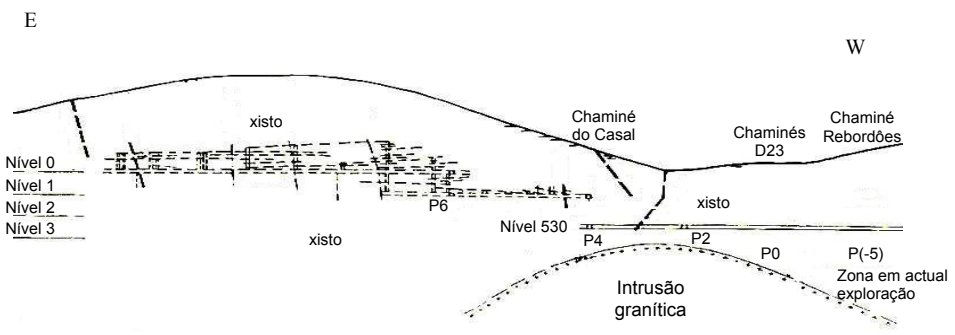

Fig.2: Corte geológico e zonas de exploração do jazigo da Panasqueira

2.3 Ambiente subterrâneo

As aberturas realizadas no maciço rochoso (xisto) para fins da exploração do Volfrâmio constituem o ambiente subterrâneo, que genericamente se apresenta no esquema geral na Fig. 3.

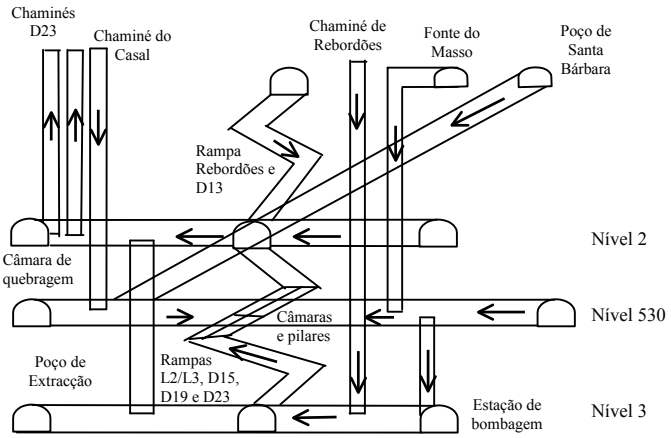

Fig. 3: Esquema geral do ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira

O acesso principal de superfície é feito pela rampa de Rebordões, que comunica com o Nível 1; logo a partir deste Nível acede-se ao Nível 2 mediante a rampa D13 e, finalmente, entre o Nível 2 e Nível 3 mediante a rampa L2/L3 ,rampa D15, rampa D19 e rampa D23 (em construção). Para além disso, temos na mina uma Câmara de Quebragem, uma Estação de Bombagem de água a uns 10 metros abaixo e ao norte do Nível 3. Existem aberturas subterrâneas para paiol, oficinas de manutenção de equipamentos, entre outros.

As áreas de interesse para o presente estudo são os ambientes subterrâneos onde há presença do homem, ou seja Nível 2, Nível 3 e os frentes de exploração concentrados entre estes níveis (Fig. 4).

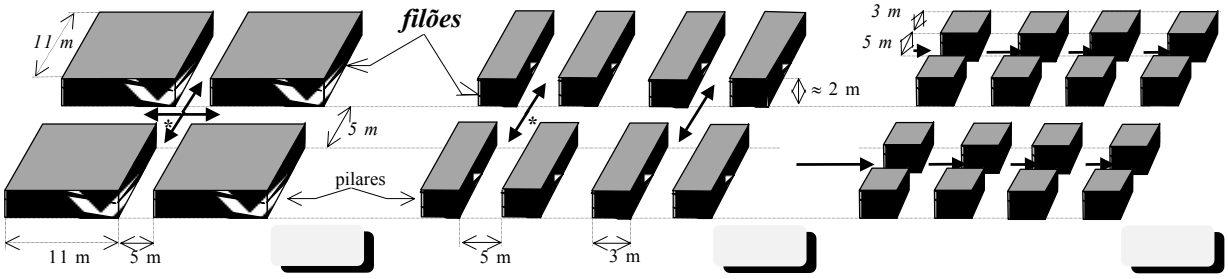

Fig. 4: Ambiente subterrâneo nas frentes de exploração da mina da Panasqueira (Bernardo 1995)

3. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO

3.1. Procedimento de ensaios

a). Caracterização e identificação de locais de ensaios, utilizando cartas de trabalhos subterrâneos, caracterizando nós, trechos e circuito tentativa da circulação do ar.

b). Verificação do trabalho inicial feito no gabinete, constatação do sentido do escoamento da água que permite elaborar o estado inicial que permite orientar a medição e amostragem "in situ" de água subterrânea.

3.2. Base de dados de água subterrânea na mina da Panasqueira

A base de dados (Tabela 1) foi elaborada com medições de caudal e amostragem de água presente em todas as frentes de trabalho compreendidas entre o nível 1 e nível 3, em data compreendida de 12 a 17 de Janeiro do 2001. O caudal determinou-se com cronometragem do enchimento de um cilindro de 200 litros de capacidade, ou com medida da velocidade para um escoamento em meio canalizado. A amostragem foi realizada em garrafa com capacidade de 1 litro, previamente preparada em laboratório da empresa, para sua respectiva análise.

	FONTES DE ÁGUA	LOCAL DE ENSAIO	CAUDAL (l/s)	AMOSTRA (Nro.)	RAMO**		L (m)	Qualidade da água*							Observações
					de	a		pH	Sólidos grs/l	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm	As ppm	
L1-1	Chaminés (Torvas) do D11W	D11W	3,31	1	2	3	200,0	6,54	0,34	0,10	0,44	4,60	0,27	0,028	Água drena pela chaminé R4.D5
L1-2	D3W, D2W, D1W, P4 e P3	D1 entre P3 e P2	81,24	5	5	6	220,0	3,50	0,66	0,59	2,03	3,70	4,68	0,0067	Água de zonas antigas pela galeria a Fonte de Masso
L1-3	D1, P2.N	P2.S	12,99	8	6	6B	80,0	3,49	0,76	0,63	2,11	23,4	4,94	0,012	Água drena ribeira de Bodelhão
L1-4	Nível 1	Boca Mina Fonte de Masso	91,70	7	6	7	1250,0	3,55	0,45	0,42	1,80	4,35	3,95	0,0074	Água drena por Poço S. Bárbara
L1-5	Filtrações perto da superfície	Rampa Rebordões	8,60	11	8	9	200,9	6,07	0,10	0,02	0,15	0,98	0,19	0,0000	Água drena por acesso Poço S. Bárbara
L1-6	Superfície	Poço S. Bárbara entre Rebordões e L1	-	21	10	11	123,9	6,09	0,09	0,03	0,25	0,16	0,05	0,0053	Água drena por Poço S. Bárbara
L2-7	Chaminés (Torvas) do D11W	D11W entre P5A e P4	4,71	10	16A	16	-	6,42	0,66	0,14	0,47	4,65	0,78	0,031	Água drena a Ch. Elevador e R4.D11
L2-8	Norte de P4 (L0)	P4 entre D7 e D5	3,75	9	15	16	666,0	5,17	4,71	0,31	5,00	17,40	11,20	0,030	Água drena por Chaminé D11.R4
L2-9	P4.S e D11W	P4 entre D11 e Ch. Elevador	7,53	6	-	-	-	7,43	0,63	0,70	0,99	3,85	1,66	0,040	Água drena por chaminé elevador
L2-10	D17.W (desmontes antigos)	D17W antes de P4	3,10	-	19A	19	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a P4
L2-11	Zona D19W, desmontes (subsidência)	P4 entre D17 e D19	57,24	2	19	18	-	3,16	1,30	3,03	10,40	23,20	12,40	0,031	Água drena a P4
L2-12	Chaminé perto do Casal	P4, perto do Ch. Casal	18,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a Chaminé do Casal
L2-13	Desmontes antigos (subsidência)	D15W perto do P4	100,26	-	18A	18	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena ao D15.R4
L2-14	Sul do P1 e Bombagem de AW31	D15E antes de P4	55,86	4	21	18	680,0	4,31	1,02	2,07	15,00	5,80	7,00	0,040	Água drena a P4 e depois a Chaminé D15.R4
L2-15	Bombagem de AW27	D23.E, bombagem	10,00	12	22	21	112,0	6,20	0,64	1,56	11,60	0,18	4,30	0,0053	Água drena a P1
L2-16	Zona P1 Sul, desmontes (subsidência)	P1 antes de D23	45,86	-	21A	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena pelo P1
L3-17	R0.W	Rampa D19 entre R0 e acesso AW31	4,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Água de R0 junta-se com água bombada de AW31
L3-18	Desmontes AW31	Bombagem	39,35	-	30A	30	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena à Rampa D19
L3-19	Rampa D19	Acesso a L530	43,97	13	29	28	51,3	3,70	1,04	2,33	12,60	4,49	8,60	0,036	Água drena ao L530
L3-20	Estação de bombagem	L3/L4	71,56	14	35	13	957,0	6,50	1,00	0,27	4,60	0,82	4,92	0,013	Água bomb. da estação bombagem à C. de queb. pela
L3-21	Nível 3	Acesso de L3 a E. Bombagem	50,2	3	36	35	700,0	6,72	1,95	0,40	5,00	1,72	7,00	0,025	Água drena a E. Bombagem
L3-22	Chaminés (Torvas) D15	D15W antes de P(-5)	10,82	-	36A	36	270,0	-	-	-	-	-	-	-	Água drena ao P(-5)
L3-23	Acessos de D17W, D19W	Entre P0 e D15W	5,98	16	36B	36^{A}	193,0	3,65	3,91	2,38	10,40	5,80	25,40	0,098	Água drena ao D15W
L3-24	Chaminé (Torva) D21.R0	D21W antes de P0	3,15	17	40	36B	345,0	4,14	2,28	3,16	21,80	11,43	30,40	0,0044	Água drena ao P0
L3-25	Chaminé e Torvas de D21W e P5 desde D21.R0	P(-5) entre D17W e D19W	5,19	15	40	36	733,0	6,64	1,40	0,29	4,40	0,67	6,40	0,018	Água drena pela P(-5)
L3-26	Superfície, L1 e L2	Poço S. Bárbara entre L2 e acesso rampa L2/L3	28,4	-	12	13	140,0	-	-	-	-	-	-	-	Água drena à Câmara de quebragem
L3-27	Superfície, L1 e L2 e E. Bombagem	Câmara de quebragem	-	18	13	26	40,0	6,20	0,21	0,18	0,97	1,60	0,76	0,025	Água drena ao L530
L3-28	Chaminé Casal e Ch.D15.R4	Entre Ch. Casal e acesso a P. S. Bárbara	286,5	19	27	26	93,0	4,70	0,94	2,34	14,20	5,40	7,20	0,025	Água drena pelo L530
L3-29	Ch. Casal, Ch. D15.R4, C. quebragem	Depois do acesso a P. S. Bárbara	-	20	30	25	365,0	5,41	1,07	1,75	11,2	5,00	7,00	0,0056	Água drena pelo L530, à Salgueira
L3-30	P4	D5.R4	3,31	-	3	23	90,0	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L1
L3-31	P2	D1.P2xS	12,99	-	6B	31	90,0	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L1
L3-32	Estação de Bombagem	L530.D E. Bombagem	0,00	-	35	33	60,0	-	-	-	-	-	-	-	Chaminé de Bombagem, não usado por inundação
L3-33	D13, P4 (sul) P4 (norte) e D11	D11.R4	8,46	-	16	25	30,0	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L2
L3-34	Zona desmontes antigos L2, depois de D19	D19W/D21.R4	-	-	20A	28	30,0	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L2
L3-35	L1 (parte), L2, L3	Boca Mina Salgueira	810,22	22	25	34	-	3,99	1,05	2,01	12,60	4,09	8,60	0,026	Água drena a ribeira Bodelhão
L3-36	Ribeira Bodelhão, L1	Ribeira de Bodelhão antes de água de Mina Salgueira	-	23	-	-	-	5,16	0,12	0,15	1,04	0,03	0,87	0,0000	Água drena a rio Zêzere
L3-37	Ribeira Bodelhão, L1 L2, L3	Ribeira de Bodelhão depois de água de Mina Salgueira	-	24	-	-	-	4,18	0,81	3,11	15,80	2,91	8,20	0,026	Água drena a rio Zêzere
	Das linhas de água	Montante Fonte do Masso	-	25	-	-	-	5,27	0,06	0,04	0,52	0,13	0,09	0,0000	Água drena a rio Zêzere

Tabela 1: Base de Dados de Água no Ambiente Subterrâneo da Mina Panasqueira
Beralt Tin & Wolfram Portugal, S.A. – IST
Data: 12, 15, 16 e 17 de Janeiro 2001

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA PRESENÇA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

3.3.1. Caracterização subterrânea

Inicialmente foi determinado o circuito inicial da água subterrânea (ver Fig. 5) e nas medições de caudal, análise pH, presença de sólidos, componentes metálicos e outros tem-se a tendência apresentada na Fig. 6, Fig, 7 e Fig 8 e a caracterização do caudal nas Fig. 9 e Tabelas 2 e 3. A caracterização identificada resume-se a seguir.

O maior caudal total de água medido corresponde ao Nível 2 (168.13 l/s), e o menor no nível 3 (125.53 l/s), sendo que no nível é um caudal meio (146.60 l/s).

No nível 1 a maior fonte de água (91.70 l/s) é da zona Norte (D2.W, D1.W, P4 e P3 que drena à Fonde do Masso e Salqueira).

No nível 2 as maiores fontes de água são da zona Oeste que é da D15.W (100.26 l/s), da zona Sul Oeste que é principalmente da D19.W (57.24 l/s) e da Sul Este que é principalmente da D23 e P1 (55.86 l/s). Todo o caudal deste água drena a L530 (Salgueira).

No nível 3 a presença de maior caudal de água é no L530, mas considerando o interesse do estudo pode-se dizer que o maior caudal drena à Estação de Bombagem (71.56 l/s), e fontes importantes são a zona de desmontes AW31 (39.35 l/s) e AW27 (10 l/s). A água dos desmontes nesta altura (mina inundada) foi controlada com bombagem ao nível 2 e da estação de bombagem à Câmara de Quegragem. Todo caudal é bombeado à L 530 Salgueira.

O balanço hídrico de água subterrânea, considerando o caudal total medido em Salgueira (810.22 l/s) indica que desta quantidade a volta de 45% provem da zonas Norte da galeria Salguiera, ou seja das zonas de explorações antigas do nível 0 e um 16%(125.53 l/s) da zona do nível 3 que precisa ser bombada.

No nível 1 água de D11.W e Poço Santa Bárbara não são ácidas (6.54, 6.07), pode-se pensar que água da D11.W é superficial com escoamento directo por falhas ou fractura ou fonte água subterrânea de estas características existentes na zona.

No nível 2 existem águas não ácidas em D11.W e desmonte AW27 (7.42, 6.20). Na zona D11.W corrobora o do nível 1 e no AW27 é possível que tenha fonte similar que indicada no referente a nível 1.

No nível 3 existem, também, águas não ácidas em Estação de bombagem, D21.W e Poço Santa Bárbara (6.67, 6.64, 6.20). A água que drena à estação de bombagem

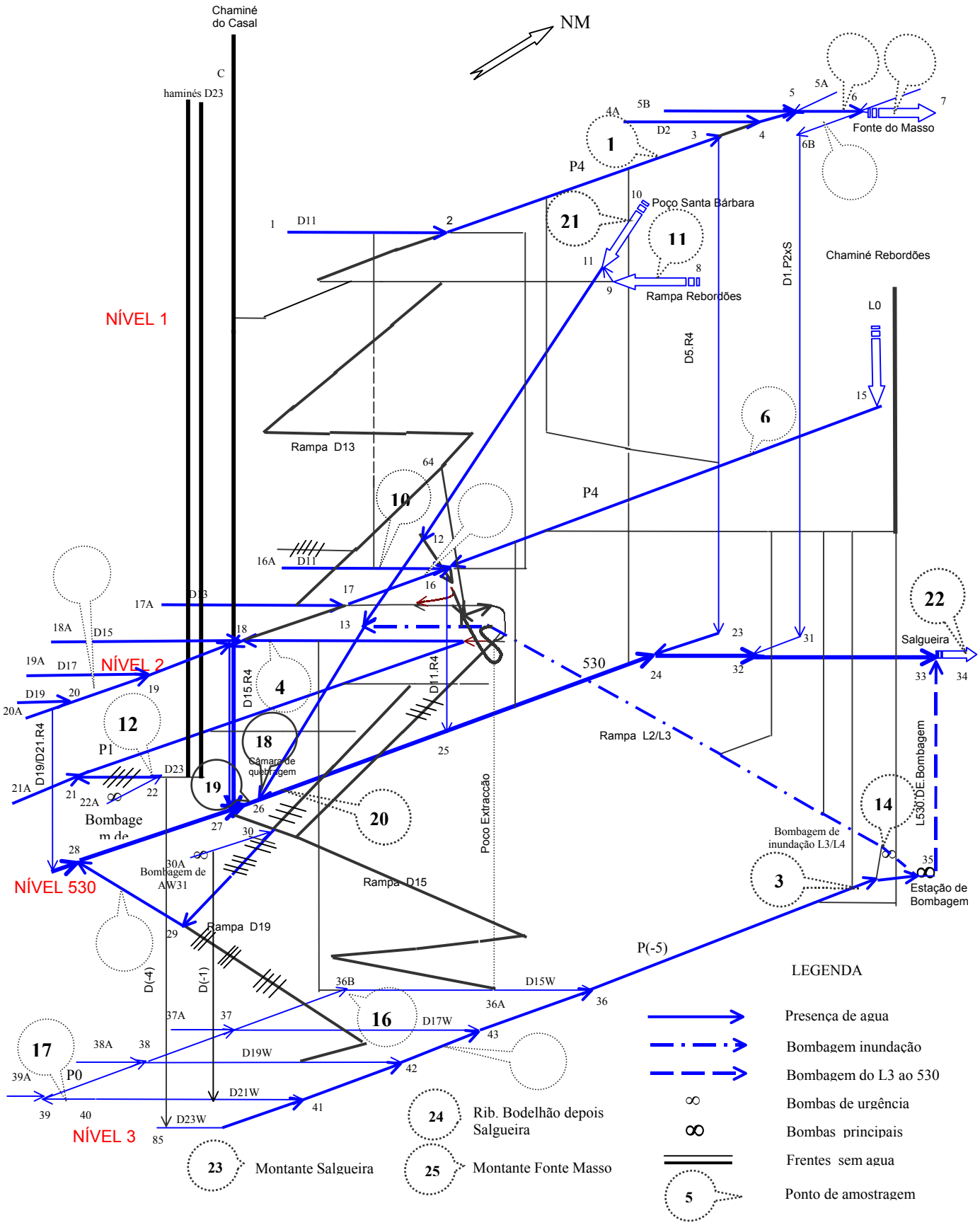

Fig. 5: Caracterização do circuito inicial e pontos de amostragem da água no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira (Janeiro 2001)

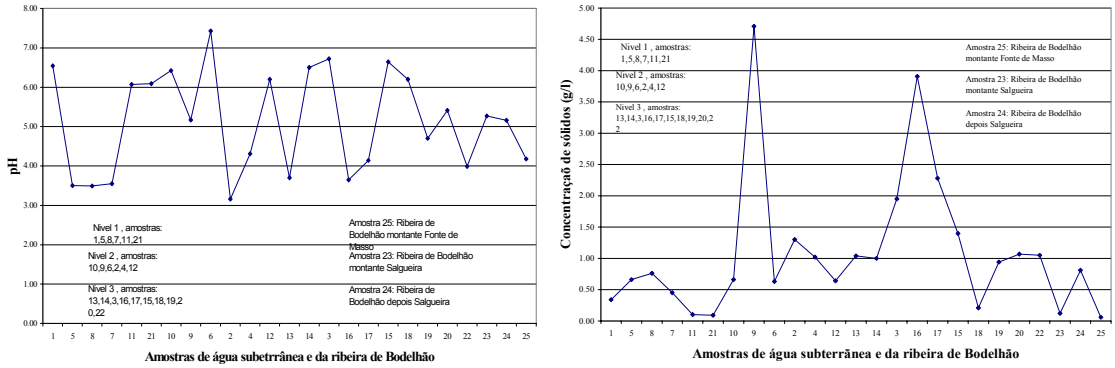

Fig. 6: Tendência do pH e sólidos da água subterrânea e da ribeira de Bodelhão

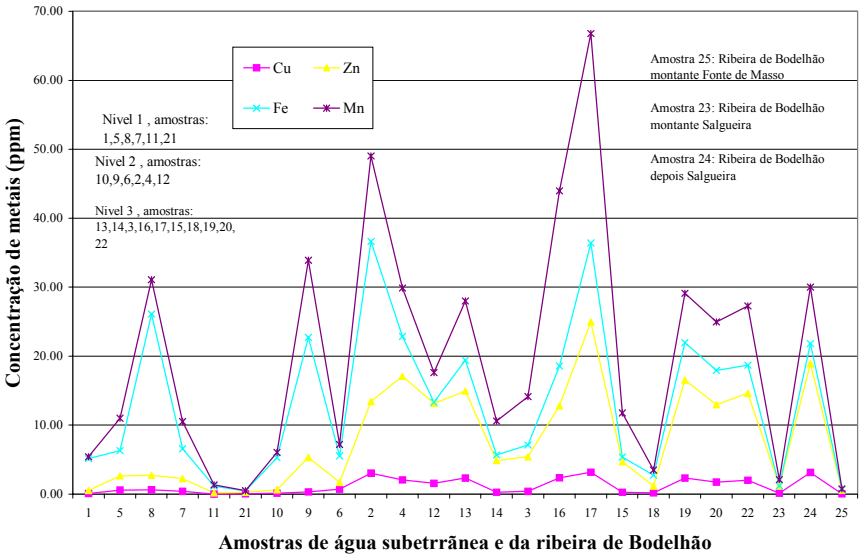

Fig. 7: Tendência dos metais em água subterrânea e ribeira de Bodelhão

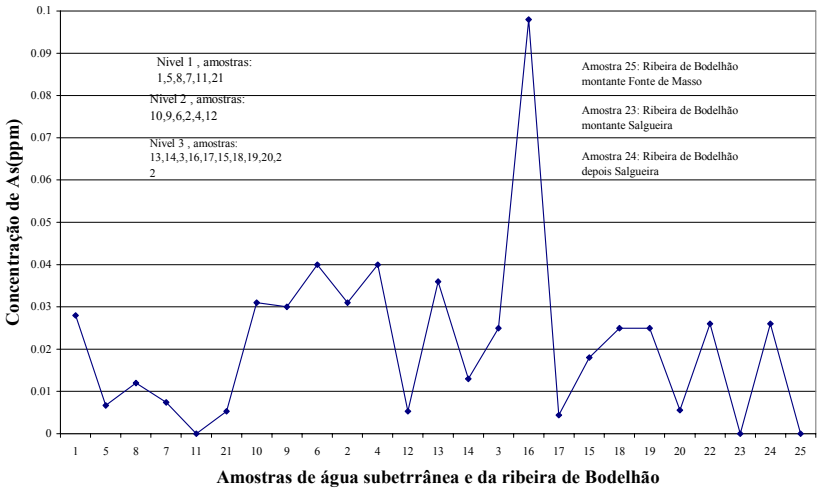

Fig. 8: Tendência do As em água subterrânea e ribeira de Boddelhão

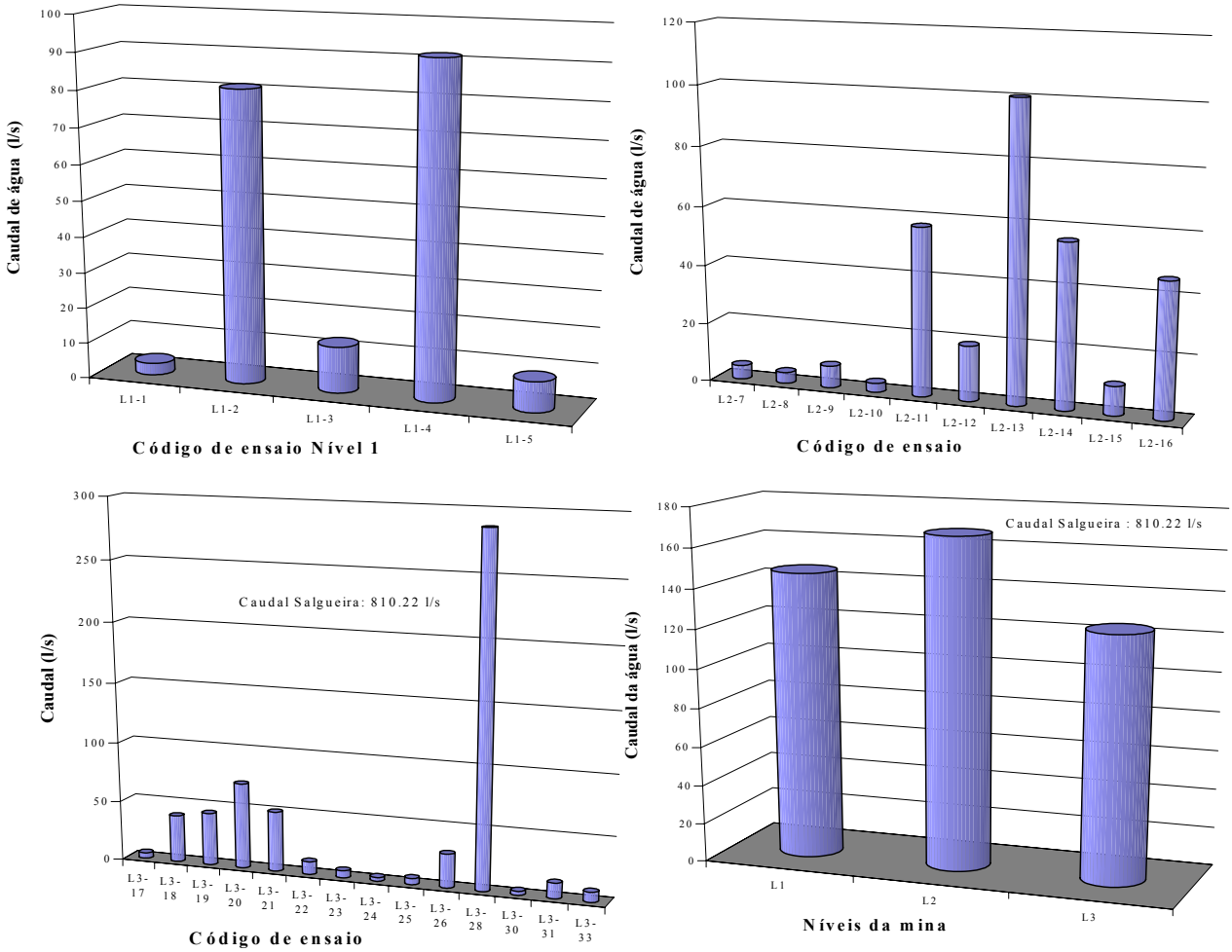

Fig. 9: Caracterização de fontes e caudais de água subetrrânea

são do nível 3 , por tanto pode-se caracterizar que esta água tem similar fonte que do nível 1 e 2.

A maior concentração de sólidos em água do nível 2 e 3 indica zona com turbidez alta devido a que correspondem a áreas de trabalho actual, mas no nível 1 já não existem trabalhos subterrâneos.

Existe maior concentração de componentes de Cu, Zn, Fe, Mn e As nos frentes o aberturas subterrâneas e de menor concentração na câmara de bombagem e Poço Santa Bárbara.

A ribeira de Bodelhão antes da descarga das águas subterrâneas ácidas tem um pH 5.27, depois da descarga de Fonte do Masso desce a 5.16 e na descarga de Salgueira tem uma descida para 4.18. A água natural antes de Fonte do Masso apresenta sólidos escassos (0.06 g/l), depois desta descarga existe certo acréscimo (0.15 g/l); mas depois de Salgueira tem acréscimo até 0.81 g/l. A presença de metais (Cu, Fe, Zn e Mn) é quase nula tanto a montante da Fonte do Masso como a montante da Salgueira; mas depois de Salgueira tem um acréscimo importante pela influencia de águas ácidas.

O As é inexistente a montante de Fonte do Masso e a montante da Salguiera, mas depois da descarga de Salgueira apresenta 0.026 ppm, que é similar à água subterrânea.

3.3.2. Caracterização hidrogeológica

Para a caracterização hidrogeológica da zona ou área das operações da mina da Panasqueira, é importante identificar as condições hídricas em superfície e também as condições geológicas.

Na zona da mina há uma precipitação média de 1602 mm/ano, com uma variação mensal detalhada na Tabela 4 para o ano hidrológico de 1998/99(Instituo Nacional de Água(INAG) do Ministério do Ambiente).

Tabela 2: Caracterização de caudal de águas subterrâneas baseado nas medições realizadas do 12 ao 17 de Janeiro de 2001.

Nível	Fontes da água	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)	Drenagem por	Drenagem para	Drenagem
	Zona D11.W	3.31		R4.D5	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D2.W, D1.W, P4, P3 (Norte)	12.99		D1.P2xS	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D2.W, D1.W, P4, P3					
1	Norte	91.70	146.60	Gal. F. Masso	Fonte Masso	Gravidade
	Poço Santa Bárbara	30.00		Poço S.Bárbara	L530 Salguiera	Gravidade
	Rampa de Rebordões	8.60		Poço S.Bárbara	L530 Salgeuira	Gravidade
	Zona P4 Norte	7.53		R4.D11	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D15.W	100.26		P4 e R4.D15	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D17W	3.10		P4 e Ch.Casal	L530 Salgueira	Gravidade
2	Zona D19.W	57..24	168.16	P4 e Ch.Casal	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona P1 Sul	45.86		D23E P1, D15E	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona AW27 (L2.D23.E)	10.00		D23.E,P1,D15.E	L530 Salgeuira	Bombagem
3	Zona AW31(r. D19)	43.97	125.53	Ac. Rampa D19	L530 Salgueira	Bombagem
	L3	71.56		Rampa L2/L3	L530 Salgeuira	Bombagem

Tabela 3: Balanço hídrico das águas subterrâneas com descarga em Salgueira

Fonte da água	Caudal (l)s)	Percentagem (%)
L1	146.60	18
L2	168.13	21
L3	125.53	16
L0 e outros *	369.96	45
TOTAL ambiente subterrâneo	810.22	100

* Estimado por diferencia

Tabela 4: Precipitação Mensal do ano hidrológico de 1998/99 (Estação Meteorológica 12L/03 de Covilhã do INAG – DHRH SNIR –Ministério do Ambiente, 2000. http://www.inag.pt/)

1998/1999	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Precipitação Mensal	31.2	58.1	64	108	26.5	117.3	119.5	99.4	10.5	38	56	*
Média mensal	159	224	238	249	205	161	120	113	45	13	14	62
Acumulado Mensal	31.2	89.3	153.3	261.3	287.8	465.1	584.6	684	694.5	732.5	788.5	*
Média Acumulada	159	383	621	870	1075	1236	1354	1367	1512	1526	1540	1602

O registo estatístico mostra que a maior precipitação pluvial na zona ocorre no mês de Janeiro do ano. Portanto as medições feitas no ambiente subterrâneo (Janeiro 2001) correspondem à maior presença da água (caudal) na mina .

Fisiográfica e topográficamente, a área superficial das operações subterrâneas actuais são de carácter montanhoso com cotas que variam entre 650 a 950 metros acima do nível do mar. Esta fisiografía concentra como seis linhas de água superficial perfeitamente definidas, as que confluem à ribeira de Bodelhão.

È sumamente importante caracterizar o aspecto estrutural da zona, devido à presença da subsistência do maciço rochoso influenciado por: aberturas subterrâneas produto da exploração por o sistema de câmaras e pilares(ver Fig. 4) e a delimitação de blocos rochosos pelas principais falhas existentes(C. Dinis da Gama, 1998). Na área dos trabalhos subterrâneos actuais ocorrem quatro falhas com rumo aproximado Norte a Sul e mergulho de 80º a 87º com sentido ao Este ,que são: Falha do Vale das Freiras, Falha das Lameiras, Falha Y e a falha IW ; e três falhas com rumo aproximado Este a Oeste com mergulho entre 63º a 89º com sentido ao Norte, que são: Falha dos 8E, falha D19 e outra falha ao Sul desta última *(*registado com nome *vert*. em carta).

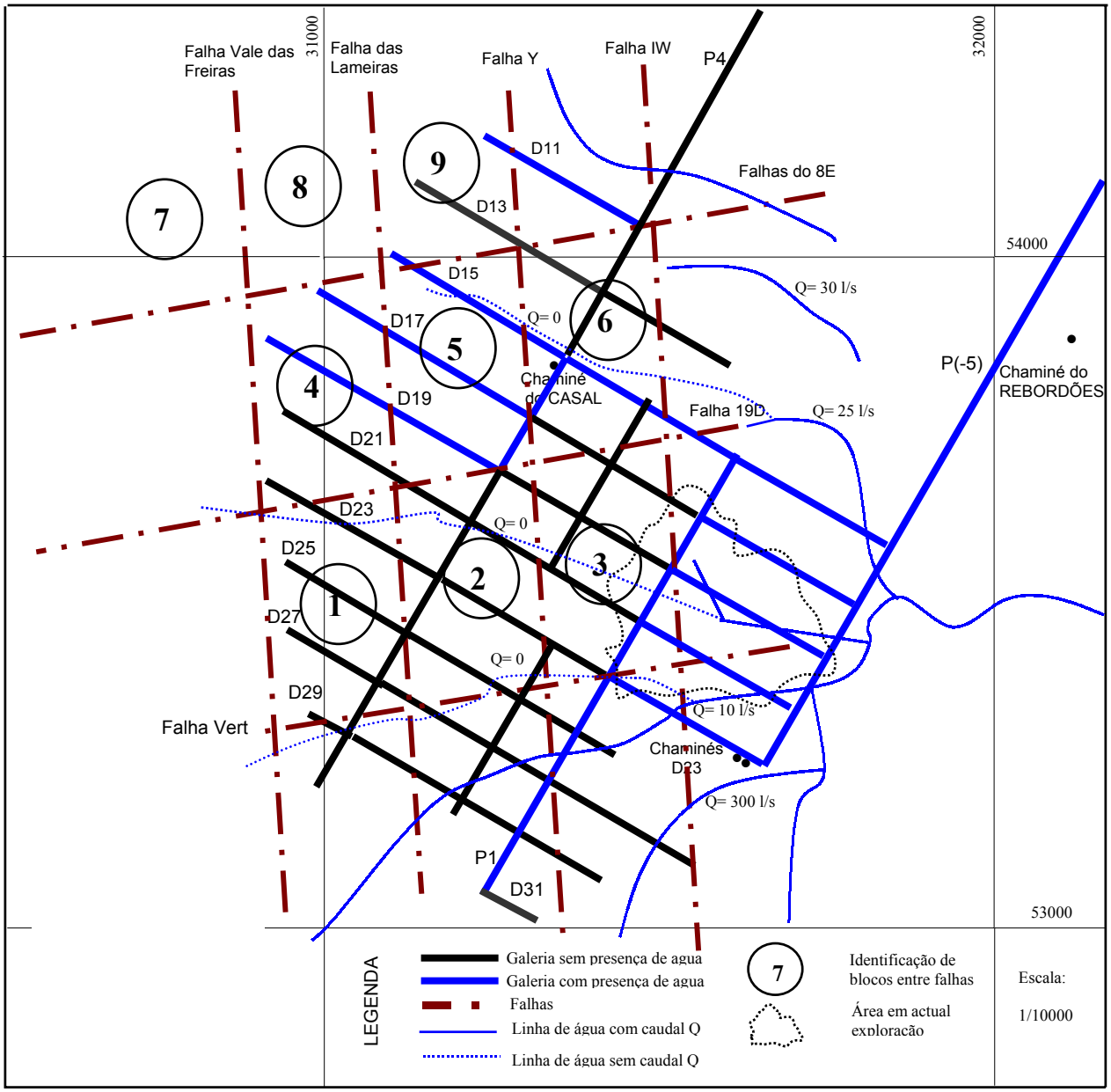

Fig. 10. Mapa de correlação de água presente em subsolo, linhas de água superficiais e subsidência do maciço rochoso(elaborado baseado nas medições feitas em Janeiro 2001 e Estudo realizado por C. Dinis da Gama, 1998)

A correlação entre, os caudais médios de água medidos em distintos locais das aberturas subterrâneas(medições Janeiro 2001), com as linhas de água superficial(identificação Janeiro 2001) e área afectada pela subsistência (Acompanhamento geomecânico da mina da Panasqueira Fevereiro – Março 98, relatório PM97.664 realizado por Prof. C. Dinis da Gama) é feito mediante um mapa de correlação (ver Fig. 10) é sumamente importante para uma caracterização exacta das fontes de águas subterrâneas, o nível de impacte ambiental e procura de alternativas de controle ambiental.

Da correlação estabelecida no mapa referida pela Fig. 10 e resumida na Tabela 5 pode-se deduzir interessantes conclusões relacionadas a águas no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira.

Sendo que a rocha hospedeira do ambiente é xisto algo compacto, a maior influencia para a presença de água no trabalhos subterrâneos é a presença do jogo de 4 falhas em direcção Norte –Sul e 3 falhas em direcção Este - Oeste , que facilitaram a subsistência dos blocos formados entre elas, devido as aberturas geradas pela exploração no subsolo.

Tabela 5: Correlação de água subterrânea identificada com a ocorrência da subsidência do maciço rochoso e água superficial.

Nível	Identificação de água no subsolo			Subsidência (Bloco entre falhas)	Água superficial	
	Ambiente subterrâneo	Caudal (l/s)	pH		Quantidade de linhas de água	Caudal (l/s)
1	D11.W	3.31	7.43	9	1	-
2	D15.W D17.W D19.W P1 Sul	100.26 3.10 57.24 45.86	4.70 4.70 3.16 4.31	9,5 4,5 4,5 3	1 1 - 2	0.0 0.0 - 0.0 e 10.0
3	AW27 (D.23) AW31 (r.D19) P(-5)	10.00 43.97 71.56	6.20 3.70 6.72	- 2,3 2,3	2 2 3	e 10.0 e 0.0 0.0, 0.0 e 10.0

A zona com presença de maior caudal de água (160.6 l/s) é o Oeste do P4 entre o D15 e D19, que corresponde à maior subsidência existente (117 cm a 292 cm).

Nas áreas afectadas pela subsidência não existe caudal nas linhas de água, com uma clara indicação que todo este água drena as aberturas do ambiente subterrâneo.

A presença de água nas linhas de água da zona Sul Oeste de P4 (área definida por P(-5), P1 e D23, D31, assim também a zona Sul Oeste de P(-5)), com caudal de 10 l/s e 300l/s, indicam zona ainda sem subsidência do maciço rochoso.

A área de actual exploração (entre P1, P(-5) e D17 , D23) ainda não tem uma alta influencia da subsidência do maciço(5.6 cm). Este facto verifica-se com a inexistência da água nas linhas da parte Oeste e ainda presença de água nas linhas da parte Este. Embora observou-se no subsolo que desmontes abandonados como AW27 já estão no inicio do abatimento.

As águas presentes no Nível 3, que o que merece a maior atenção, pelo momento estão influenciados pela subsidência dos blocos de maciço rochoso (2 e 3) e pela presença e intersecção de duas falhas nesta zona, mas quando ocorrera o abatimento do maciço, toda esta água não será possível controlar pelo Nível 2, portanto é de esperar que haverá um acréscimo de caudal no nível 3 de 71.56 l/s a 125.53 l/s, ou seja em quase o dobro do caudal actual controlado mediante sistema de bombagem.

4. IDENTIFICAÇÃO DO IMPACTE AMBIENTAL SUBTERRÂNEO

Para o caso da mina da Panasqueira o nível de impacte ambiental devido ao caudal da água define-se tendo em referencia ao caudal de água que precisa bombagem (Tabela 6), pois a quantidade de água que drena por gravidade sem condições de obstrução na galeria de drenagem(Salgueira) considera-se como que não gera risco ambiental de inundação (Fig. 5). Visando o real potencial da presença de água na actual e futura exploração considera-se 4 níveis de avaliação: leve, moderado, alto, muito alto , com os valores indicados na Tabela 7.

A condição *leve* considera-se para caudal em meses com pouca precipitação pluvial, e moderada no mês de Janeiro, considerando as condições hidrogeológicas actuais. A condição de alto considera-se quando o caudal da água do AW27 e AW31 não será possível controlar (bombear) pelo nível 2, pelo que este caudal drenará irremediavelmente ao nível 3 (Estação de bombagem), isto ocorrerá quando haverá abatimento do maciço rochoso jacente (superior) a estes desmontes já explorados. A condição de muito alto poderia ocorrer no futuro sim não se tomam medidas preventivas para evitar subsidências do maciço que compreende a zona Sul das chaminés D23 que poderia gera entrada de água ao nível 3 em ordem de 250 a 300 l/s.

Tabela 6: Fontes de água e condição de risco ambiental subterrâneo devido à quantidade

Fonte da água	Caudal (l/s)	Percentagem (%)	Drenagem	Risco ambiental ?
L1	146.60	18	Gravidade	Não
L2	168.13	21	Gravidade	Não
L3 (AW27 e AW31)	53.97	*7*	*Bombagem*	Sim
L3.P(-5)	*71.56*	*9*	*Bombagem*	Sim
L0 e outros *	369.96	45	Gravidade	Não

Tabela 7: Matriz base para a avaliação do impacte ambiental subterrâneo devido ao caudal da água

Nível de impacte	Caudal de água no ambiente subterrâneo
Leve	$Q < 62$ l/s
Moderado	62 l/s $\leq Q \leq$ 72 l/s
Alto	72 l/s $\leq Q \leq$ 126 l/s
Muito alto	$Q > 126$ l/s

Portanto o impacte ambiental devido à quantidade de água subterrânea identificada foi *moderada* com tendência a alta a mediano prazo e com risco de muito alto a longo prazo.

5. MITIGAÇÃO DO IMPACTE AMBIENTAL SUBTERRÂNEO DEVIDO AO CAUDAL

O impacte ambiental da água subterrânea devido ao caudal, está identificado em relação ao risco de inundação que poderia ocorrer no nível 3, por tanto a técnica mais utilizada é o sistema de bombagem.

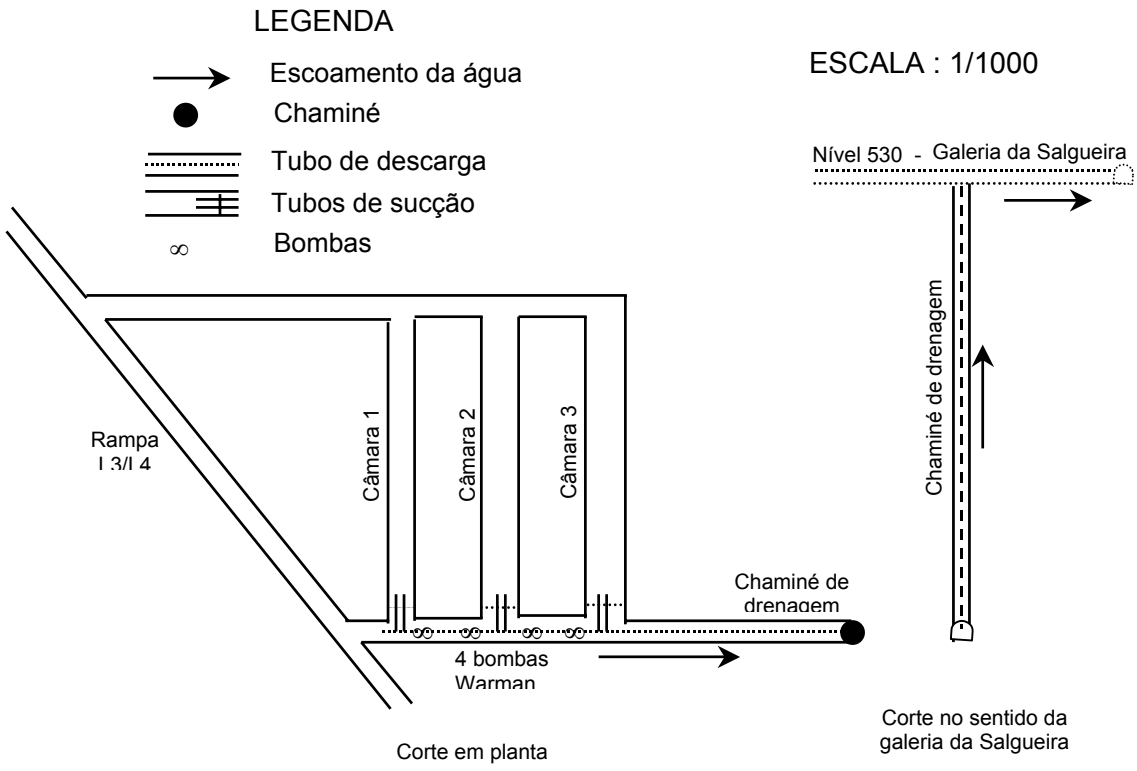

Fig. 11: Mapa da infra-estrutura e sistema de bombagem de água subterrânea do nível 3

CONDIÇÕES DO SISTEMA AUXILIAR PARA O BOMBAGEM

- Três câmaras de bombagem (1,2 e 3)
- Tubos de sucção e de descarga de 8" de diâmetro.
- Duas válvulas e dois cotovelos de 90º para cada câmara.
- Dois cotovelos de 90º para tubos de descarga.
- Altura de bombagem 72.50 metros.
- Velocidade de sucção 2.4 m/s e de
- descarga de 4.6 m/s.
- Densidade da água 1 t/m^3

CONDIÇÕES DE BOMBAGEM

- Duas bombas da mesma potência para cada câmara.
- No caso de bombagem de duas ou três câmara o sistema é em paralelo, com bomba para cada câmara.
- Caudal máximo actual: 71.56 l/s.
- Risco de caudal a curto ou mediano prazo: 125.53 l/s.
- Risco de caudal a largo prazo: ~ 300 a 350 l/s.
- Eficiência do sistema 65%

Actualmente a estação de bombagem está instalada a una cota de 457.50, composto por 3 câmaras de armazenamento de água (1,2 e 3) escavadas em rocha com uma inclinação negativa no

sentido da galeria das bombas. Actualmente tem-se instaladas 2 bombas Warman de 150 kW para a câmara 1 e outras duas bombas, também, Warman de 100 KW para a câmara 2, sendo que a câmara 3 ainda não tem bombas instaladas. A água é bombada mediante tubos instalados na galeria das bombas e elevar pela chaminé de drenagem ao nível 530 (Galeria da Salgueira) para ser descarregado pela boca da mina da Salgueira (ver Fig. 11).

Utilizando estas condições foi preciso usar as técnicas sobre sistemas de bombagem e basicamente o relaciona ao algoritmo para poder calcular a potência do sistema de bombagem (equação 11) considerado por Igor J. Karassik 1992 (Pump Handbook).

$$PB = Q \cdot H_t \cdot \rho / (76 \cdot E) \quad (1)$$

Onde: PB: potência da bomba (Hp), Q: caudal de água (l/s), Ht: carga total (m),
ρ : densidade da água (t/m^3), E: eficiência combinada do motor e da bomba (factor).

Baseado na equação 11, com um processo de cálculo da carga total H_t mediante as equações 12 ao 15, e considerando a equivalência de 1Hp igual a 0.7457 kW, determinou-se as equações de 16, 17 e 18 para as condições da actual estação de bombagem do nível 3 da mina da Panasqueira.

$$H_t = h_d \pm h_s + h_f + h_a + h_v \quad (2)$$

Onde: h_d: altura de descarga (m), h_s: altura de sucção (m), h_f: altura devido à fricção (m), h_a: altura devido a acessórios (m), h_v: altura devido a velocidade.

$$h_f = LQ^{1.85}/480d^{4.8655} \quad (3)$$
$$h_a = 0.3048L_e \quad (4)$$
$$h_a = v^2/2g \quad (5)$$

Onde: L: comprimento do tubo (m), Q: caudal de água (galões/minuto), d: diâmetro de tubo (polegadas), L_e: comprimento equivalente determinado mediante Tabela (pés), velocidade da água no tubo (m/s) recomendado para sucção 2.4 m/s e para descarga 4.6 m7s, g: aceleração da gravidade (9.8 m/s2).

$$PM_1 = 1.251Q + 0.0000001672Q^{2.85} \quad (6)$$
$$PM_2 = 1.251Q + 0.0000001672Q^{2.85} - 150 \quad (7)$$
$$PM_3 = 1.251Q + 0.0000001672Q^{2.85} - 250 \quad (8)$$

Donde: PM_1 : potência da bomba da câmara 1; PM_2: potência da bomba adicional da câmara 2 e PM_3: potência da bomba adicional da câmara 3. Na câmara 2 será necessário adicionar quando o caudal de água é maior que a capacidade da bomba da câmara 1 e na câmara 3 será necessário adicionar quando o caudal é maior que a capacidade das bombas das câmaras 1 e 2.

Com estas três últimas equações e utilizando o programa EXCEL procedeu-se a simular os prováveis riscos ambientais de inundação (Fig. 12) que permite obter interessantes alternativas de solução em base as bombas existentes.

A simulação indica que nas condições actuais de bombagem (duas bombas de 150 kW e duas de 100 kW) é possível suportar o risco de acréscimo de caudal até 125.53 l/s (águas subterrâneas cujas fontes são Nível 3, desmonte AW27 e desmonte AW31).

Portanto só é necessário procurar alternativas para um eventual acréscimo (sim correra) de caudal até 300 l/s ao longo prazo.

E evidente que a alternativa mais económica é a primeira devido a que precisa compra de duas bombas de menor potência a comparação da alternativas 2 e 3.

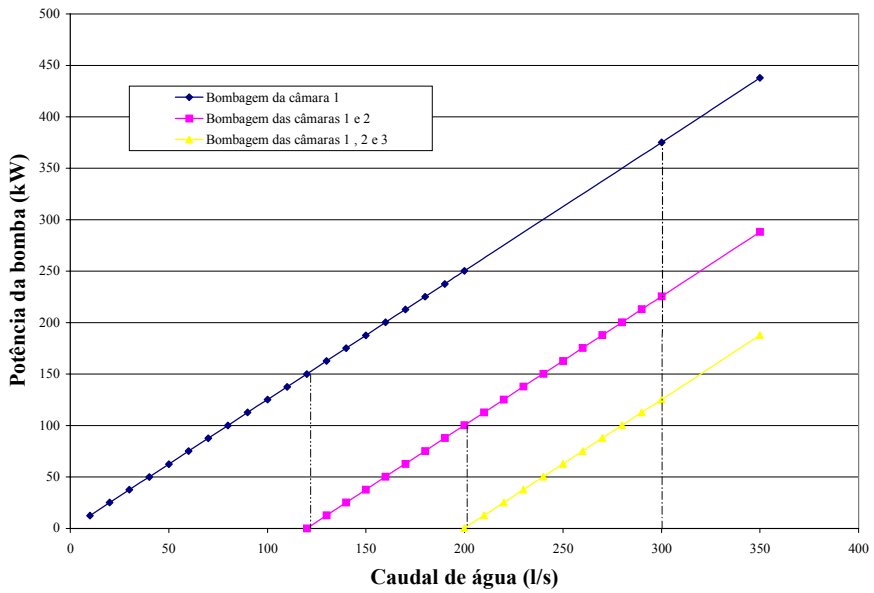

Fig. 12: Alternativas de mitigação do impacte ambiental subterrâneo devido ao caudal da água

Tabela 8: Alternativas de correcção do eventual impacte ambiental devido ao caudal de água subterrânea no nível 3

Alternativa	Câmaras com bombas	Potência das bombas (kW)	Observação
1	1 2 3	150 100 125	Precisa aumentar duas bombas de 125 KW
2	1 2	250 125	Precisa aumentar duas bombas de 250 kW e usas as de 150 KW na câmara 2
3	1	375	Trocar todo o sistema só com duas bombas de 375 kW

6. CONCLUSÕES

O caudal da água no nível 1 (18%), no nível 2 (21%) e da zona Norte (L0) que drena ao nível 530(45%), nas condições actuais, não constituem risco de impacte ambiental.

O risco ambiental devido ao caudal de água subterrânea está no nível 3, que actualmente na estação de bombagem representa um 8.83% (71.56 l/s) com impacte tipificado como moderado, a mediano prazo passará a representar um 16% (125.53 l/s) gerando um alto impacte e ao longo prazo existe um risco de atingir valores em ordem de 27% (~300 l/s) tipificado como muito alto.

Simulações realizadas para mitigar o impacte ambiental devido ao caudal de água subterrânea indicam que, a capacidade actual de bombas instaladas na estação de bombagem (duas bombas de 150 kW na câmara 1 e duas de 100 kW na câmara 2), são suficientes para o risco ambiental a curto e mediano prazo.

No caso do risco ambiental devido a um acréscimo de caudal perto de 300 l/s ao longo prazo, a alternativa mais económica para a mitigação deste impacte ambiental é a compra de duas bombas adicionais de 125 kW cada uma para serem instaladas na câmara 3. Neste caso trabalhariam três bombas em paralelo (150 kW, 100 kW e 125 kW) com três bombas similares em reserva.

7. REFERÊNCIAS

Dinis da Gama, Vidal Navarro: "Avaliação do impacte ambiental subterrâneo da mina da Panasqueira". , Lisboa 2001.

Dinis da Gama, Vidal Navarro, Luís Lopes: " Avaliação do impacte dinâmico e volumétrico do ambiente subterrâneo das minas da Panasqueira", Barroca Grande 2001.

Pedro Alexandre Marques Bernardo: " Dimensionamento e simulação de redes de ventilação mineira", Lisboa 1995.

Dinis da Gama: “Acompanhamento geomecânico da mina da Panasqueira Fevereiro – Março 98”, Lisboa 1998.

Igor J. Karassik :Pump Handbook, 1992.

Precipitação Mensal do ano hidrológico de 1998/99 (Estação Meteorológica 12L/03 de Covilhã do INAG – DHRH SNIR –Ministério do Ambiente, 2000. http://www.inag.pt/)

Maria Fernanda J. Veloso Leite: “A geologia das minas da Panasqueira” 1981.

Edmundo Lopes Nobre: “Breves notas sobre trabalhos, presentes e futuros, na mina da Panasqueira” 1981.