



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 1/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

RELATÓRIO TÉCNICO

ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLOGICO DO COMPLEXO MINERÁRIO PROJETO BLOCO 8

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A

(PROJETO BLOCO 8)

Outubro/2018



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 HIDROGEOLOGIA
 MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
 CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
2/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
 2

Rev.	DATA	POR	TE	Aprov.	Descrição de Revisões
0	10/09/2018	WALM	A	AJ	Preliminar
1	27/09/2018	WALM	B	AJ	Para Aprovação
2	02/10/2018	WALM	D	AJ	Aprovado

TE - TIPO DE EMISSÃO

(A) Preliminar

(D) Aprovado

(B) Para Aprovação

(E) Cancelado

(C) Para Conhecimento

Observações:



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 3/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	8
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	9
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	9
3.2 PLUVIOMETRIA E EVAPORAÇÃO	10
3.3 TOPOGRAFIA E DRENAGEM SUPERFICIAL	16
3.4 GEOLOGIA REGIONAL	19
3.5 GEOLOGIA LOCAL	22
4. ANÁLISE HIDROGEOLOGICA E MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	29
4.1 DADOS DE MONITORAMENTOS	30
4.1.1 Nascentes	30
4.1.2 Piezometria	32
4.1.1 Potenciometria	36
4.2 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	38
4.3 INTERFERÊNCIA COM A OPERAÇÃO MINERÁRIA	39
4.3.1 Escavação	40
4.3.2 Disposição de Rejeito / Estéril	40
4.4 RECARGA E DESCARGA	41
4.5 DOMÍNIO DO MODELO	42
5. MODELO HIDROGEOLOGICO NUMÉRICO	43
5.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO	44
5.1.1 Limites e definição da malha de cálculo	44
5.1.2 Parâmetros Hidráulicos	46
5.1.3 Condições de Contorno	47
5.2 CALIBRAÇÃO	49
5.3 SIMULAÇÕES DE MÁXIMO REBAIXAMENTO	55
5.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS	61
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	64



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 4/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

7. REFERENCIAS67

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 5/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.1 – Localização e acesso à área do projeto.....	9
Figura 3.2.1 – Precipitação anual na Estação Grão Mogol - 1973/2017.....	12
Figura 3.2.2 – Precipitação média mensal na Estação Grão Mogol - 1973/2017.	13
Figura 3.2.3 – Evaporação anual na Estação Grão Mogol - 1961/2017.	15
Figura 3.2.4 – Evaporação média mensal na Estação Grão Mongol - 1973/2017.....	16
Figura 3.3.1 – Topografia natural do entorno do Projeto Bloco 8 antes do empreendimento.....	17
Figura 3.3.2 – Topografia para o desenvolvimento de 18 anos do empreendimento do Projeto Bloco 8.	18
Figura 3.4.1 – Contexto geotectônico da área de trabalho; em azul localização do projeto (<i>Retirado de Vilela, 2010</i>).	19
Figura 3.4.2 – Perfil geológico da Faixa Araçuaí mostrando os domínios tectônicos. (Fonte: Pedrosa-Soares <i>et al.</i> (2001))......	20
Figura 3.4.3 – Empilhamento estratigráfico do grupo Macaúbas na região do projeto.....	22
Figura 3.5.1 – Mapa geológico da área do bloco 8 (Modificado de relatório SAM bloco 8 – geologia).	24
Figura 3.5.2 – Perfil estratigráfico esquemático para a área.....	25
Figura 3.5.3 – Distribuição dos litológicos nos furos de sondagem (WALM, 2013).....	28
Figura 3.5.4 – Seção geológica 8203100 com destaques para os caimentos das camadas das porções leste e oeste (WALM, 2013).....	29
Figura 4.1.1 – Cadastro de nascentes no entorno do projeto.....	31
Figura 4.1.2 – Localização dos piezômetros.....	33
Figura 4.1.3 – Variação do nível d’água nos piezômetros localizados a nordeste e a margem direita do córrego Lamarão.....	34
Figura 4.1.4 – Variação do nível d’água nos piezômetros localizados no divisor de água entre os córregos Lamarão e Mundo Novo.....	35
Figura 4.1.5 – Mapa potenciométrico e principais direções do fluxo (Fonte: GOLDER, 2011).....	37
Figura 4.5.1 – Domínio hidrogeológico.....	43
Figura 5.1.1 – Malha horizontal e seção vertical (exagero vertical 2x) do modelo numérico.....	45
Figura 5.1.2 – Distribuição das propriedades hidráulicas em seção W-E (seção 74 - 8.203.300 N).....	46
Figura 5.1.3 – Limite do modelo, fluxo nulo (verde); distribuição uniforme da recarga (branco).....	48



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 6/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Figura 5.1.4 - Distribuição espacial das condições de contorno de "Carga Constante" e de "Drenos". 49

Figura 5.2.1 - Gráfico de calibração das cargas hidráulicas. 53

Figura 5.2.2 - Superfície equipotenciométrica do nível de água modelado –curvas 10 x 10 m (camada 5). 54

Figura 5.3.1 Seção vertical passando pela Barragem 02 e pelo *pit* da cava (linha 63). 55

Figura 5.3.2 - Superfície equipotenciométrica do nível de água modelado para a condição de máximo rebaixamento no Cenário 1 56

Figura 5.3.3 – Distribuição das condições de contorno para a simulação de máximo rebaixamento, incluindo as demais estruturas de represamento..... 57

Figura 5.3.4 – Seção vertical transversal as barragens de rejeitos 01 e 02, unidades hidroestratigráficas de rejeitos (cinza)..... 59

Figura 5.3.5 - Superfície equipotenciométrica do nível de água modelado para a condição de máximo rebaixamento no Cenário 2 60

Figura 5.1.1 – Localização das nascentes cadastradas sob as futuras estruturas. 62

Figura 5.1.2 – Variação de carga hidráulica para as condições de simulação do cenário 2. Curvas espaçadas de 5 e 5 m. Vermelhas negativas. Azuis positivas..... 63



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 7/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.2.1: Precipitação monitorada na Estação Grão Mogol de 1973/2017.....	11
Tabela 3.2.2: Evaporação monitorada na Estação Grão Mogol de 1961/2017.	13
Tabela 4.1.1: Dados dos Piezômetros Existentes na Área da Cava.....	32
Tabela 5.1.1: Unidades hidroestratigráficas representadas no modelo.	46
Tabela 5.1.2: Condições de contorno de saída inseridas no modelo.	47
Tabela 5.2.1: Zonas de condutividade hidráulica representadas no modelo numérico.	50
Tabela 5.2.2: Pontos de monitoramento do nível d'água utilizados na calibração do modelo.....	51
Tabela 5.2.3: Resumo do erro de calibração piezométrica do modelo numérico de fluxo.....	52
Tabela 5.2.4: Balanço hídrico da calibração do modelo numérico em regime permanente.....	53
Tabela 5.1.1: Alteração nas vazões de base das sub-bacias dos córregos Lamarão e Mundo Novo.	61

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p align="center">PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-05</p>	<p>Folha 8/71</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0005</p>	<p>Revisão 2</p>

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório trata-se da atualização dos modelos conceitual e numérico de fluxo d'água subterrânea do complexo minerário do projeto Bloco 8, de propriedade da Sul Americana de Metais S.A. (SAM), localizado nos municípios de Grão Mogol e de Padre Carvalho localizados no estado de Minas Gerais.

Para subsidiar o entendimento dos possíveis impactos sobre as águas subterrâneas provocados pelo rebaixamento da mina do Bloco 8, estudos hidrogeológicos locais foram realizados pela WALM (2014). Devido a atualização dos projetos de suas estruturas, entre elas as barragens de rejeitos e o *backfill* na cava com estéril e rejeitos, a SAM contratou a WALM Engenharia novamente para realizar estudos específicos, envolvendo as disciplinas inter-relacionadas de geologia, hidrogeologia, geotecnia e projetos.

Neste contexto, a WALM apresenta neste relatório uma compilação e análise dos dados de monitoramentos fornecidos pela SAM, bem como o cadastro de nascentes e as informações de projetos que serão utilizados como base dos modelos conceitual e numérico de fluxo de água subterrânea.

2. OBJETIVOS

Dentre os principais objetivos deste trabalho inclui-se:

- Reavaliar o modelo conceitual a partir dos dados atualizados de monitoramentos e de projetos das estruturas;
- Elaborar e calibrar um novo modelo numérico utilizando os dados de monitoramento de níveis de águas subterrâneas e modelo de bloco geológico da mina;
- Realizar a simulação, em regime estacionário, da condição de máximo rebaixamento da mina do Bloco 8, considerando a presença do *backfill* bem como das barragens de rejeito e reservatório de águas; e
- Analisar as alterações nos fluxos em nascentes e cursos de água no entorno.
- Estimar vazões para dimensionamento da drenagem da cava;
- Avaliar eventual necessidade de rebaixamento do lençol freático para permitir as operações na cava.
- Avaliar impactos das operações minerárias sobre as nascentes e cursos de água, e sugestão de medidas mitigadoras.
- Proposição de monitoramento do comportamento da água subterrânea.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 9/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A mina do Projeto Bloco 8 abrange terras dos municípios de Grão Mogol e Padre Carvalho. É acessível por rodovia a partir de Belo Horizonte, aproximadamente 590 km, por trecho da BR-040/BR-135 até alcançar Montes Claros e de lá pela BR-251, em direção a Salinas, até a área do projeto (Figura 3.1.1).

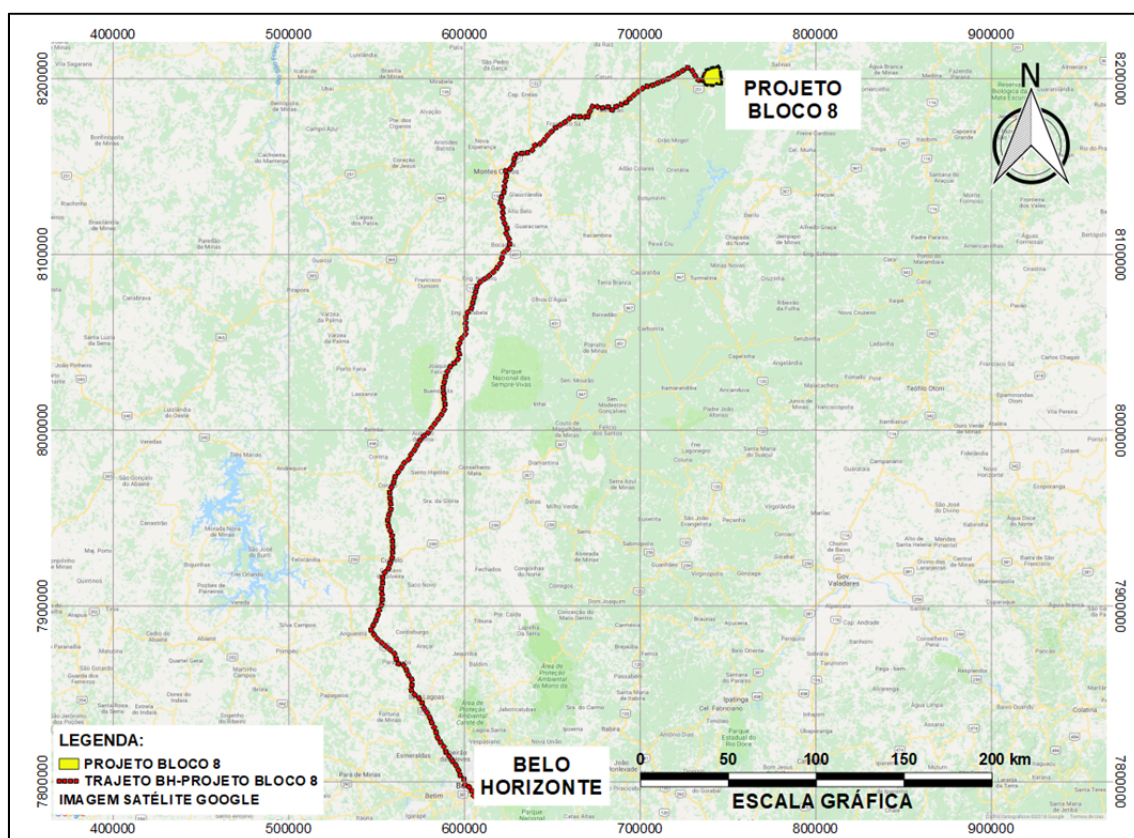


Figura 3.1.1 – Localização e acesso à área do projeto

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 10/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

3.2 PLUVIOMETRIA E EVAPORAÇÃO

As análises locais das variáveis climatológicas são relevantes para os estudos de balanço hídrico, e conseqüentemente, para a avaliação da recarga subterrânea, componente do balanço. Considerando a inexistência de estação meteorológica na área do empreendimento, os dados de pluviometria e de evaporação na região foram registrados na estação mais próxima da área de estudo, em Grão Mogol.

O pluviógrafo da estação Grão Mogol possui uma série histórica desde janeiro de 1973 até o presente momento, conforme apresentados na Tabela 3.2.1 e no gráfico da Figura 3.2.1

Por meio de cálculos estatísticos determinou-se as médias, mínimas e máximas dos meses e do total anual desde janeiro de 1973 a dezembro de 2017 (Figura 3.2.2). A partir desses dados, pode-se notar que a maior concentração de chuvas ocorre entre os meses de outubro a março, com pico em dezembro (média de 227 mm) e os meses mais secos são de abril a setembro, com precipitação média mínima em julho (25 mm). A maior precipitação mensal registrada ocorreu em janeiro de 1985, sendo monitorado 564 mm neste mês.

Os registros de maiores precipitações anuais ocorreram nos anos de 1979 e 1983, com 1.760 e 1.749 mm/ano, respectivamente. Já nos anos de 2012 e 2015 obteve-se os menores valores registrados, com 819 e 546 mm/ano. A média histórica é de 972 mm/ano, excluindo-se os anos de 1975 e 1990 que apresentam falha no monitoramento.

Na estação Grão Mogol também é realizado o monitoramento de evaporação desde 1961. No entanto, é frequente o número de falhas de monitoramento, como pode ser observado na Tabela 3.2.2 e no gráfico da Figura 3.2.3.

Por meio de cálculos estatísticos determinou-se as médias, mínimas e máximas dos meses e do total anual desde janeiro de 1961 a dezembro de 2017 (Figura 3.2.4). Observa-se que os meses de maiores taxas de evaporação ocorre entre abril e outubro, variando de 113 a 223 mm/mês. Ressalta-se que estes meses apresentam valores de evaporação maiores de que de precipitação. Durante os meses de novembro a março, a evaporação apresenta menor variação, situando-se entre 102 a 116 mm/mês. A evaporação média anual é de 1712 mm/ano.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
11/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2**Tabela 3.2.1: Precipitação monitorada na Estação Grão Mogol de 1973/2017.**

Ano	Precipitação (mm)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1973	45	125	405	0	7	0	4	0	8	168	266	95	1122
1974	123	51	141	5	10	0	0	1	1	77	102	174	685
1976	0	85	2	0	26	2	11	3	68	183	283	278	941
1977	188	26	0	108	49	6	8	0	21	96	191	177	870
1978	287	377	177	135	42	9	25	8	14	154	160	228	1615
1979	431	440	148	200	0	4	1	22	0	128	144	243	1760
1980	355	242	96	140	1	10	3	1	19	57	51	277	1250
1981	174	33	304	41	2	8	0	17	0	259	347	108	1293
1982	247	27	143	70	30	0	6	0	3	137	10	95	767
1983	344	167	294	35	33	1	3	0	2	129	507	234	1749
1984	85	2	60	42	0	0	12	15	73	105	173	183	750
1985	564	88	85	10	0	0	9	27	63	144	195	420	1604
1986	191	99	6	10	6	6	11	9	1	33	118	154	644
1987	89	8	146	43	2	0	1	0	71	25	179	374	938
1988	159	58	131	50	1	23	10	0	0	69	169	184	855
1989	56	41	93	13	0	26	0	21	11	112	178	523	1074
1991	232	68	94	0	26	0	17	6	50	42	319	299	1153
1992	154	50	78	9	36	23	9	23	3	215	338	385	1323
1993	141	178	20	5	10	5	0	0	12	52	49	287	759
1994	134	0	277	75	0	0	0	0	1	23	256	115	881
1995	70	111	138	55	18	0	11	0	0	122	252	304	1080
1996	79	46	104	48	0	0	0	0	8	89	247	176	799
1997	142	77	208	92	6	10	2	0	10	79	158	143	926
1998	100	109	38	0	0	0	11	0	0	99	444	210	1011
1999	52	126	185	15	0	0	4	0	6	85	272	231	977
2000	159	27	197	27	5	0	9	1	35	20	293	396	1170
2001	42	16	106	12	18	3	2	7	17	138	272	149	781
2002	209	123	61	7	2	7	6	9	70	1	127	445	1067
2003	321	1	59	32	12	0	0	0	30	8	95	189	746
2004	243	270	231	177	2	26	19	0	0	139	45	189	1340
2005	108	251	187	3	10	17	7	1	4	80	258	247	1172
2006	25	41	332	67	0	1	4	0	49	109	428	237	1293
2007	112	289	51	37	20	0	2	1	0	1	97	59	669
2008	52	53	109	78	0	4	0	4	18	0	339	316	973
2009	230	48	63	66	9	4	3	9	14	315	53	138	950
2010	9	34	256	19	60	0	9	0	0	59	310	156	912
2011	66	42	262	60	1	1	6	0	0	135	199	186	958
2012	82	12	51	10	61	1	9	20	0	40	220	14	519
2013	230	4	43	60	5	5	1	4	1	48	294	491	1185
2014	55	2	68	26	20	23	0	3	0	64	250	136	648
2015	1	90	183	49	30	1	5	12	3	39	63	71	546



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 12/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Ano	Precipitação (mm)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2016	507	26	2	3	1	4	1	14	19	15	113	109	812
2017	100	303	242	18	26	0	3	0	0	1	152	320	1165
Médias	163	99	137	45	14	5	6	6	16	91	210	227	972

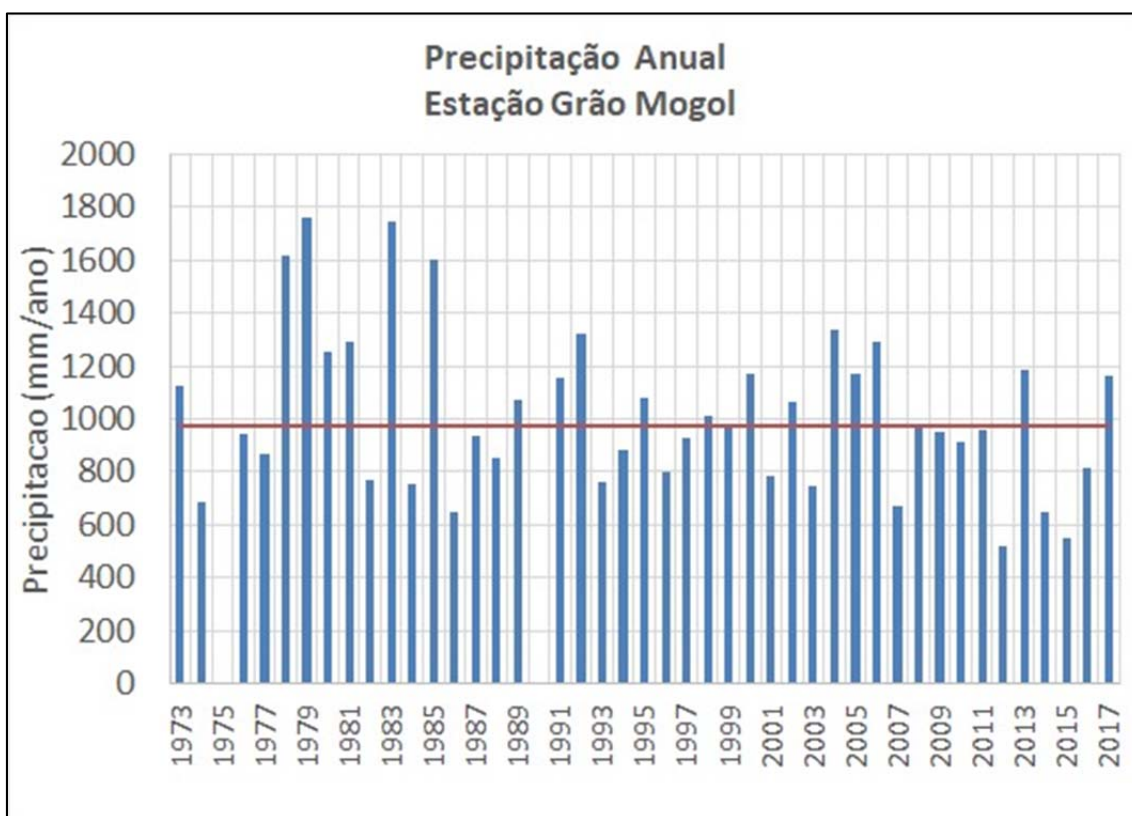


Figura 3.2.1 – Precipitação anual na Estação Grão Mogol - 1973/2017.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 13/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

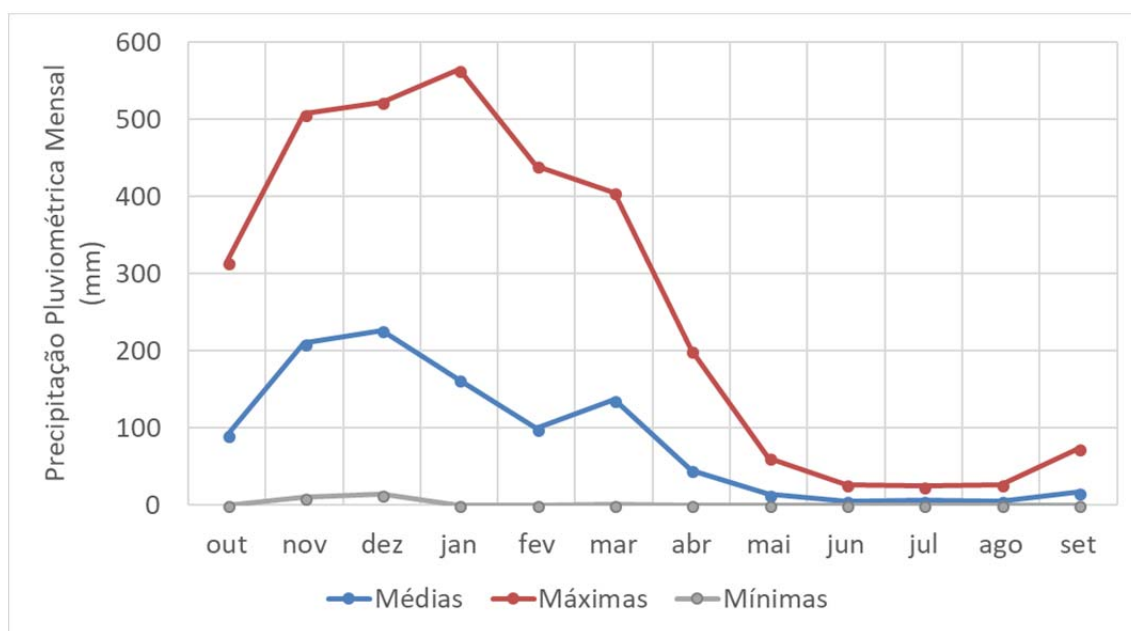


Figura 3.2.2 – Precipitação média mensal na Estação Grão Mogol - 1973/2017.

Tabela 3.2.2: Evaporação monitorada na Estação Grão Mogol de 1961/2017.

Ano	Evaporação (mm)												Total
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1961	41	75	95	98	90	88	104	-	-	134	118	112	954
1962	63	64	-	88	88	85	101	124	126	104	76	-	919
1969	106	76	83	93	94	108	127	168	175	156	93	55	1333
1970	41	75	123	99	137	121	129	161	164	93	82	101	1325
1973	91	80	53	67	79	87	99	133	135	58	54	65	1000
1974	73	84	44	69	69	84	109	158	190	129	84	79	1171
1975	97	75	127	73	98	127	149	204	223	129	66	111	1479
1976	202	113	172	180	133	185	200	217	151	137	79	70	1841
1977	93	107	142	119	112	129	188	215	193	200	114	99	1710
1978	95	75	95	76	81	88	111	139	176	141	81	73	1232
1980	-	-	105	70	85	91	-	160	189	193	101	67	1060
1981	76	127	72	80	94	75	119	151	-	94	38	81	1006
1982	53	103	69	83	91	103	131	147	186	193	208	176	1542
1983	44	-	-	-	88	-	-	-	-	148	-	-	280
1989	155	107	124	147	156	125	-	166	185	146	94	43	1447

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
14/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

Ano	Evaporação (mm)												Total
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1991	61	69	88	93	108	120	154	193	158	-	78	79	1200
1992	37	70	117	92	94	127	155	174	188	151	81	45	1329
1993	113	95	163	121	129	137	174	175	210	-	193	107	1618
1994	68	122	62	74	98	108	125	171	207	245	146	112	1538
1995	129	84	126	98	110	137	168	215	250	199	101	74	1692
1996	132	148	123	139	136	159	184	203	241	-	120	106	1691
1997	96	182	92	94	119	109	180	253	250	231	223	109	1938
1998	128	114	171	197	200	189	213	-	-	255	94	110	1669
1999	156	203	105	158	161	162	205	243	287	282	120	114	2197
2000	101	122	123	134	164	160	186	216	235	302	117	72	1930
2001	138	171	123	181	155	164	184	248	241	188	98	137	2028
2003	82	-	146	167	181	183	216	204	269	285	219	209	2160
2004	100	76	84	85	105	116	153	205	304	248	226	104	1807
2005	99	78	76	113	119	130	172	222	228	323	98	82	1740
2006	160	130	68	73	106	125	149	214	204	127	92	92	1540
2007	110	73	146	126	149	163	184	256	278	316	256	144	2201
2008	149	117	88	95	128	135	169	225	238	328	141	79	1892
2009	89	115	137	79	116	120	172	226	224	153	132	92	1655
2010	135	173	85	112	107	132	173	210	267	211	81	102	1786
2011	105	155	73	102	118	134	162	234	276	159	104	76	1698
2012	104	141	159	165	130	144	190	233	267	307	86	179	2105
2013	133	174	165	100	145	141	189	241	255	192	180	72	1987
2014	157	185	138	142	161	150	186	233	298	281	145	156	2231
2015	263	179	153	125	137	170	178	223	297	338	242	201	2506
2016	74	148	189	196	158	170	195	215	271	241	145	142	2145
2017	231	123	103	113	105	117	-	-	-	-	-	69	860
Médias	110	116	113	113	120	130	162	199	223	200	123	102	1712



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 15/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

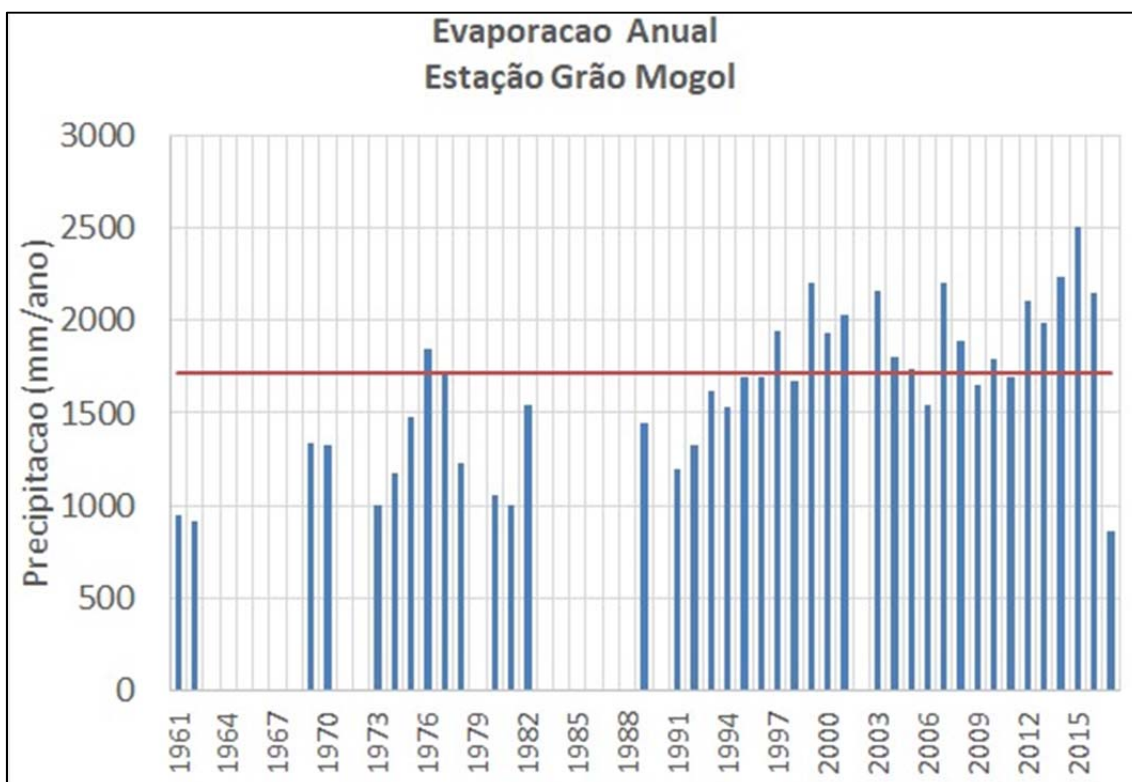


Figura 3.2.3 – Evaporação anual na Estação Grão Mogol - 1961/2017.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
16/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

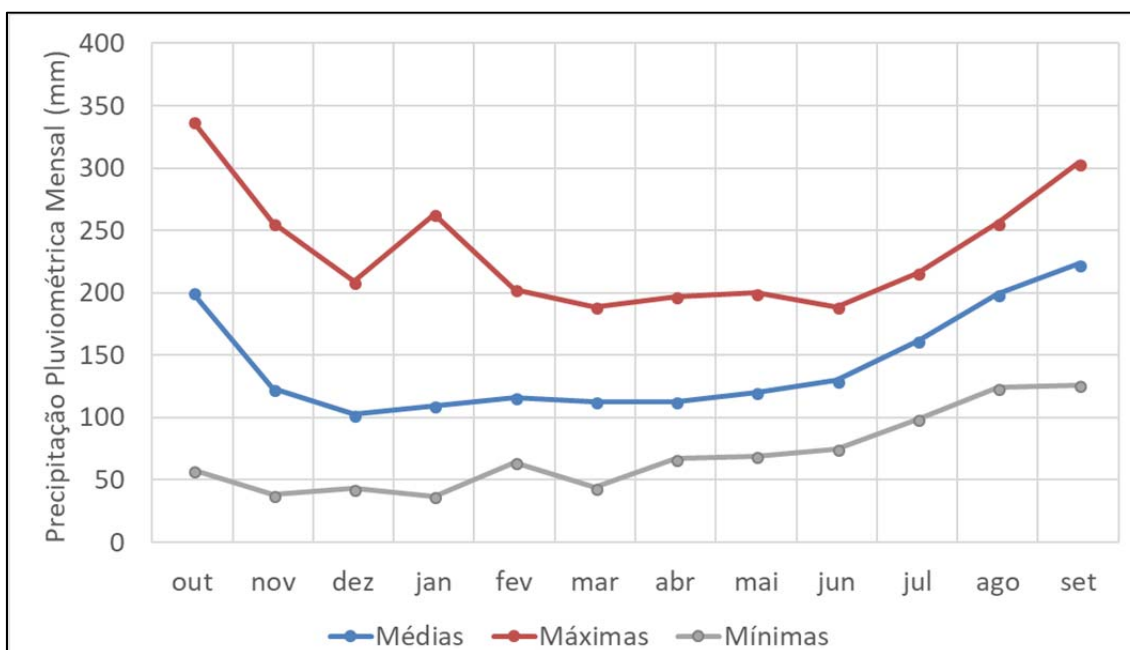


Figura 3.2.4 – Evaporação média mensal na Estação Grão Mongol - 1973/2017.

3.3 TOPOGRAFIA E DRENAGEM SUPERFICIAL

A área de estudos localiza-se sobre o Planalto Setentrional do Espinhaço, apresentando relevo caracterizado por áreas aplainadas, limitadas com rebordos erosivos denominados “chapadas”, alternados com zonas dissecadas, predominando vertentes ravinadas e vales encaixados.

A área ocupa elevações aproximadas entre 977 e 600 metros acima do nível do mar (m.a.n.m.), desde o divisor na parte SW da propriedade até o exutório da bacia (já fora da propriedade da SAM). A informação topográfica foi consolidada através das informações do levantamento topográfico local em toda a área do empreendimento, com precisão de 1 x 1 m, e com as informações de levantamento do IBGE para o entorno, com precisão de 50 x 50 m. Na Figura 3.3.1 é apresentado o modelo digital de elevação com a poligonal do complexo.

Na Figura 3.3.2 foi incorporada a topografia final das estruturas projetadas da cava, do *backfill*, das barragens de rejeitos, além dos reservatórios de água. A região mais



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 17/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

baixa encontra-se na cava, com a cota aproximada de 520 m.a.n.m, já as barragens de rejeito 01 e 02 estão nas elevações 915 e 935 m.a.n.m, respectivamente.

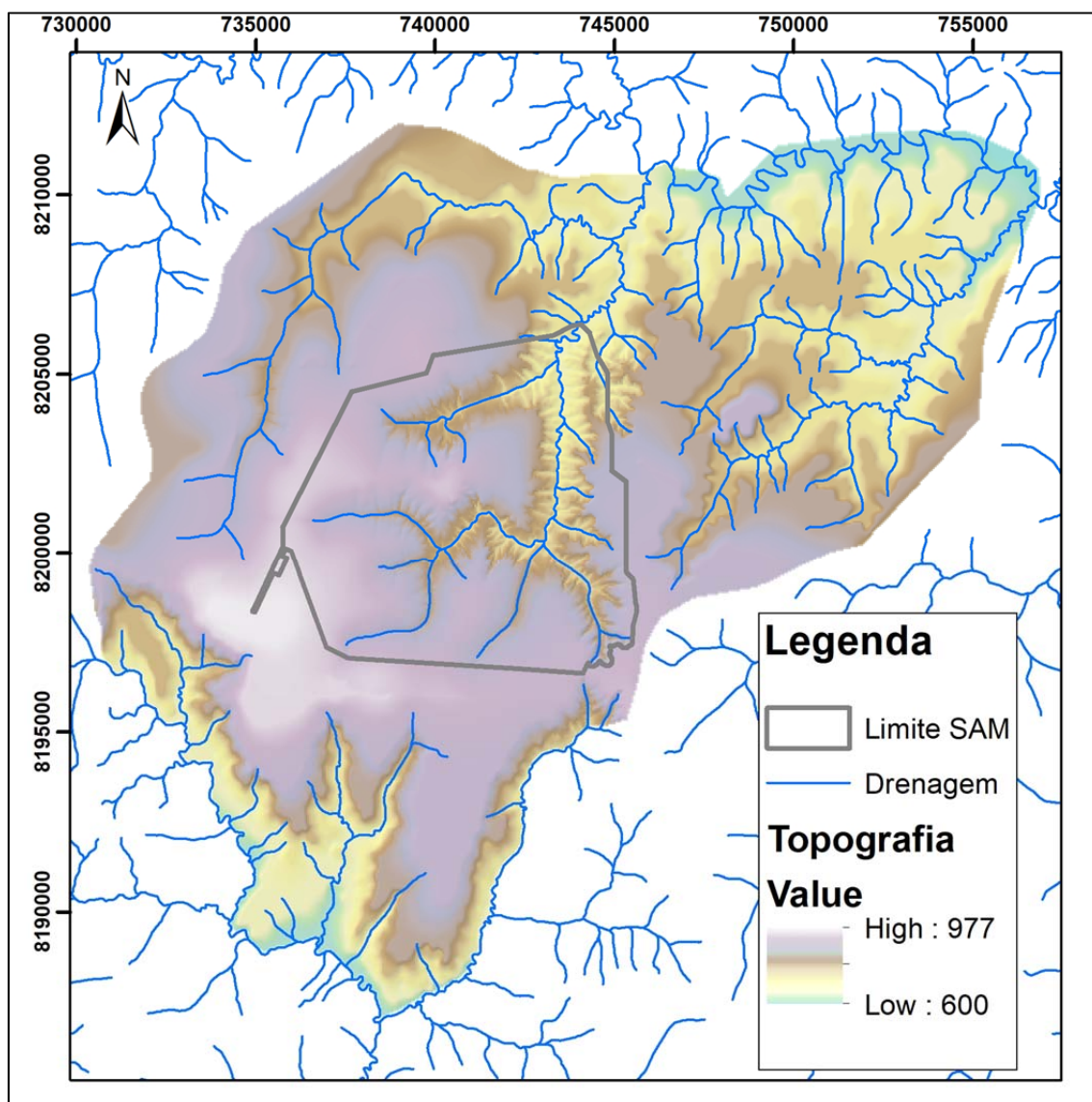


Figura 3.3.1 – Topografia natural do entorno do Projeto Bloco 8 antes do empreendimento.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
18/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

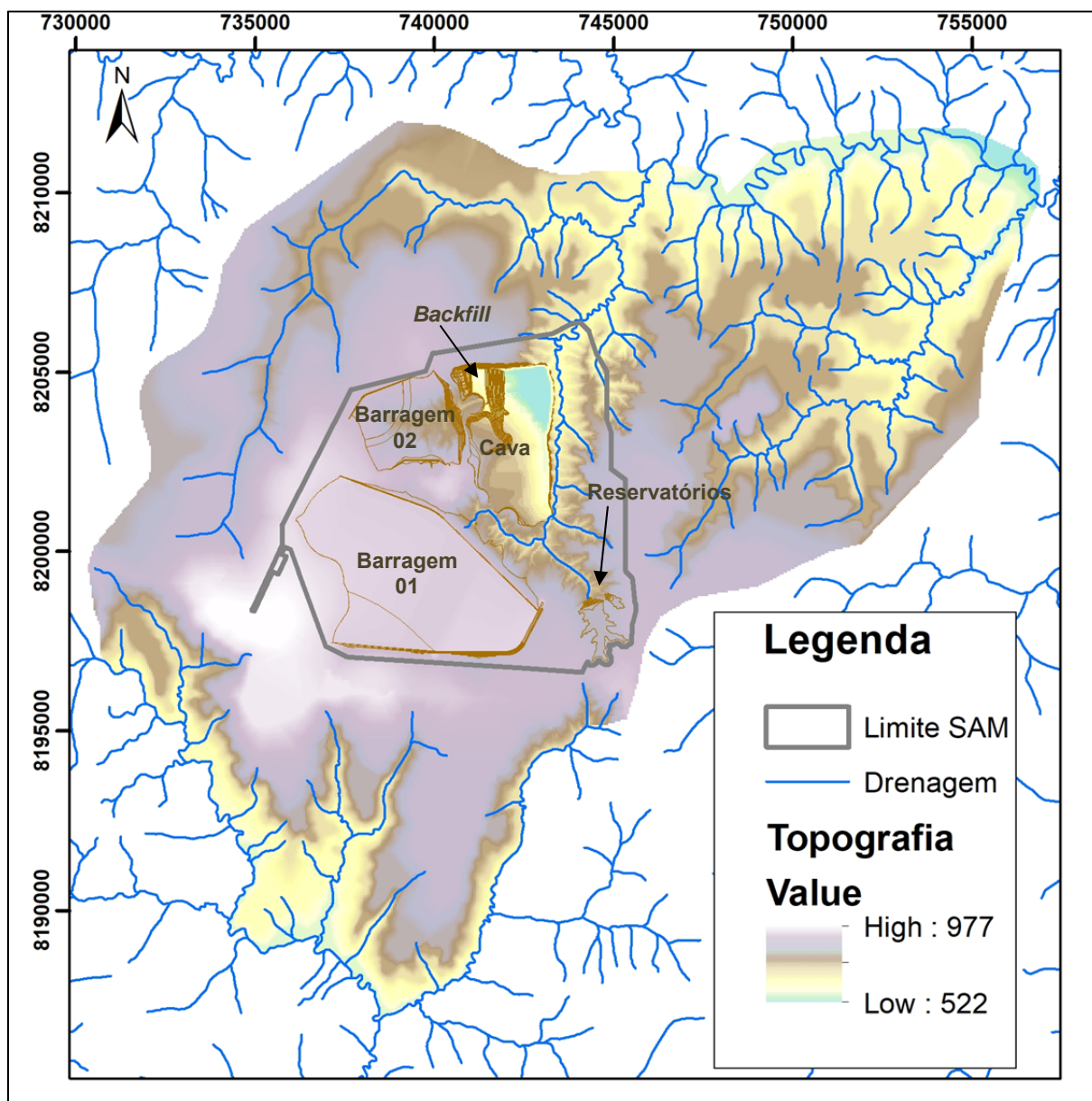


Figura 3.3.2 – Topografia para o desenvolvimento de 18 anos do empreendimento do Projeto Bloco 8.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 19/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

3.4 GEOLOGIA REGIONAL

A área do Projeto Bloco 8 encontra-se localizada na porção norte do estado de Minas Gerais, inserida no contexto geotectônico do Orógeno Araçuaí, definido por Pedrosa-Soares & Noce 1998, a qual foi moldada pela orogenia brasileira no Neoproterozóico (Figura 3.4.1).

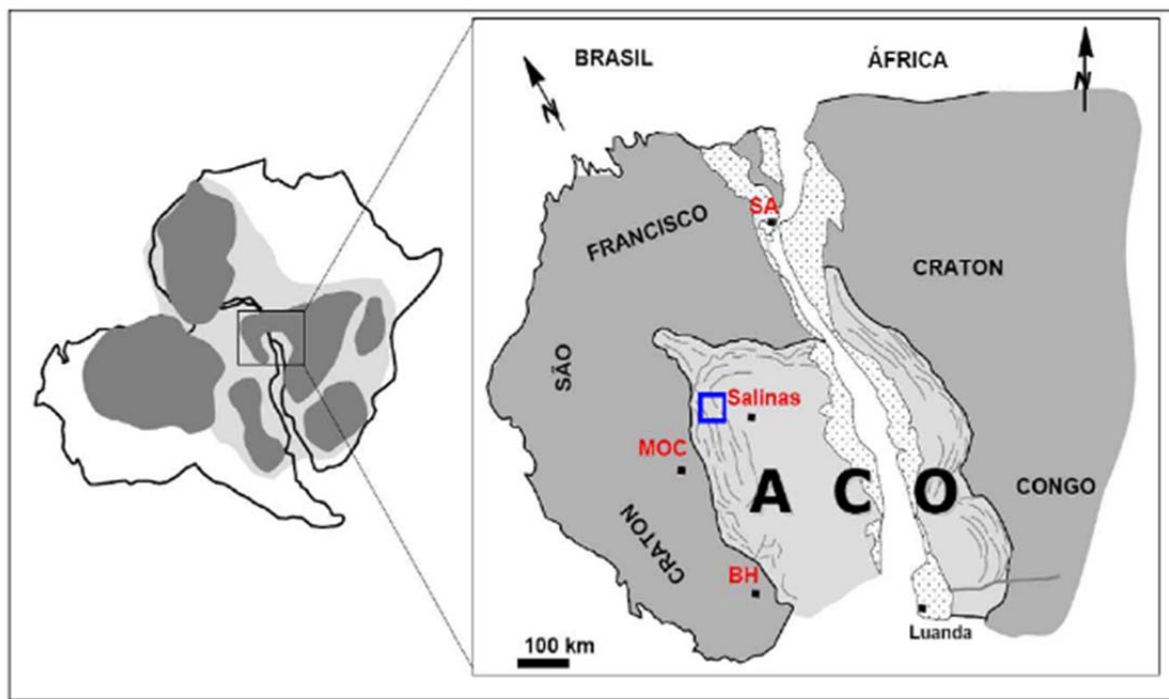


Figura 3.4.1 – Contexto geotectônico da área de trabalho; em azul localização do projeto (Retirado de Vilela, 2010).

O rifting neoproterozóico que levou a separação entre o Cráton São Francisco e Cráton do Congo é marcado pela entrada de diques máficos da Suíte Pedro Lessa, além de granitos anorogênicos da Suíte Salto da Divisa e xistos verdes basálticos do membro Rio Preto da Formação Chapada do Acauã.

Durante a fase de rifting depositaram-se sobre a bacia Macaúbas as formações Matão, Duas Barras, Rio Peixe Bravo, sendo relacionadas a um período pré-glacial, e Serra do Catuni, Nova Aurora e a parte inferior da Formação Chapada Acauã,

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 20/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

relacionadas às atividades glaciogênicas que ocorreram nesse período (Glaciação Sturtiana).

Durante a fase de convergência, Pedrosa-Soares et al. (2007) reconhecem quatro estágios orogênicos do Orógeno Araçuaí, sendo a primeira pré-colisional (ca. 630 - 580 Ma) caracterizado por magmatismo tipo I do arco magmático, representado pela Suíte G1 e rochas vulcânicas do Grupo Rio Doce, a segunda sin-colisional (ca. 580 - 560 Ma) marcado pela deformação e metamorfismo regionais e granitogênese do tipo S, Suíte G2, a terceira tardi-colisional (ca. 560 - 530 Ma) com granitogênese também do tipo S, Suíte G3, atribuídas à fusão parcial de granitos G2 deformados e a quarta pós-colisional (ca. 530 - 490 Ma) onde ocorrem processos deformacionais e plutonismo relacionados ao colapso gravitacional do Orógeno Araçuaí, com formação das suítes G4, do tipo S, e G5, do tipo I e A2.

Na configuração atual do Orógeno Araçuaí, Pedrosa-Soares et al. (2001) reconhecem três compartimentos tectônicos principais: domínio externo, caracterizado como faixa de dobramentos e empurrões; o domínio interno que é o núcleo metamórfico-anatético do orógeno; e a inflexão setentrional que contém segmentos destes dois domínios, mas apresenta feições tectônicas particulares (Figura 3.4.2).

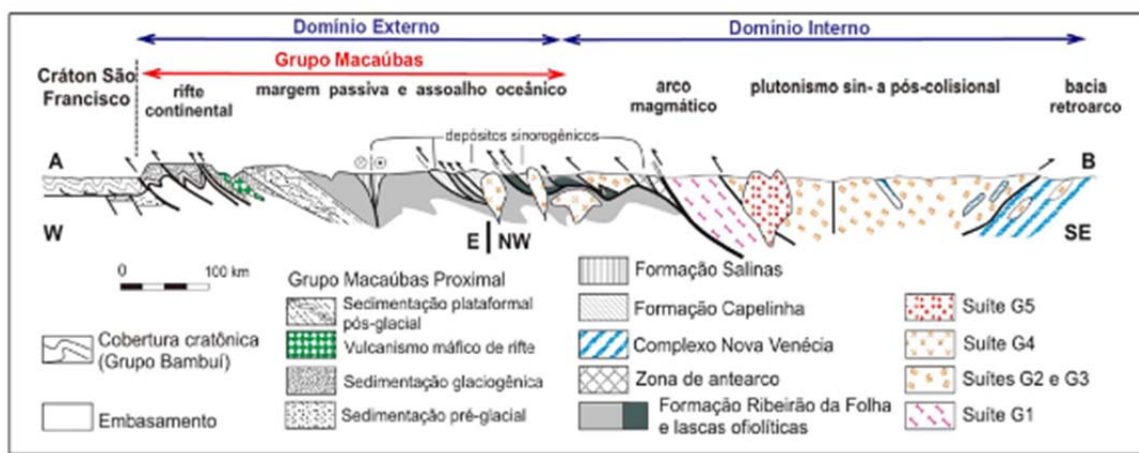


Figura 3.4.2 – Perfil geológico da Faixa Araçuaí mostrando os domínios tectônicos. (Fonte: Pedrosa-Soares et al. (2001)).

O Grupo Macaúbas encontra-se no domínio externo sendo caracterizado por faixa de dobramentos e empurrões com vergência para oeste com metamorfismo xisto verde a anfíbolito.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 21/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

O Grupo Macaúbas possui três unidades que contém diamictitos, sendo interpretadas como depósitos glaciogênicos: as formações Serra do Catuni, Nova Aurora e Chapada Acauã Inferior. A Formação Serra do Catuni é considerada como de origem glacial, em ambiente marinho proximal, devido à grande quantidade de diamictito maciço, com zonas enriquecidas em clastos caóticos, ocorrência de clastos facetados e estriados na forma de ferro de engomar, sedimentos finos escassos e correlação com os depósitos glacio-terrestres da Formação Jequitai no Cráton do São Francisco (Pedrosa-Soares *et al.* 2010). A Formação Nova Aurora tem características sedimentares, tais como deposição cíclica de sedimentos grossos a finos, acamamento gradado, contatos erosivos entre ciclos e estruturas de carga, que são evidências de sedimentação por fluxos de detritos e correntes turbidíticas em ambiente glacio-marinho distal (Pedrosa-Soares *et al.* 2010). A Figura 3.4.3 abaixo esquematiza o empilhamento estratigráfico do Grupo Macaúbas na região.

A área do trabalho compreende exclusivamente as rochas da Formação nova Aurora, sendo essa composta principalmente por metadiamicititos, com intercalações de quartzitos e filitos, e ainda pelas camadas ferruginosas do Membro Riacho Poções, composto essencialmente de metadiamictito hematítico com intercalações de quartzito e filitos hematíticos.

A base da Formação Nova Aurora é composta por unidades ferruginosas, gradacionando para pacotes não ferruginosos, sendo todo esse pacote de espessura estimada entre 1000 a 3000 metros.

Independentemente da quantidade de hematita e magnetita, os metadiamicititos são compostos por matriz de quartzo na granulometria areia fina a grossa, com quantidades inversamente proporcionais de muscovita e hematita e/ou magnetita, e ainda, clorita, biotita, epidoto, plagioclásio, apatita, granada e turmalina. Apresenta clastos de quartzo, quartzito, filito, rocha carbonática, granitóide, xisto e filito carbonoso. Na maior parte das vezes os clastos encontram-se estirados paralelamente a foliação, mas em zonas de menor deformação, estes clastos são angulares a perfeitamente arredondados.

Deformados ou indeformados, os clastos apresentam grande variação de granulação, com tamanhos variando desde grânulo a matações com até 1m de diâmetro

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 22/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

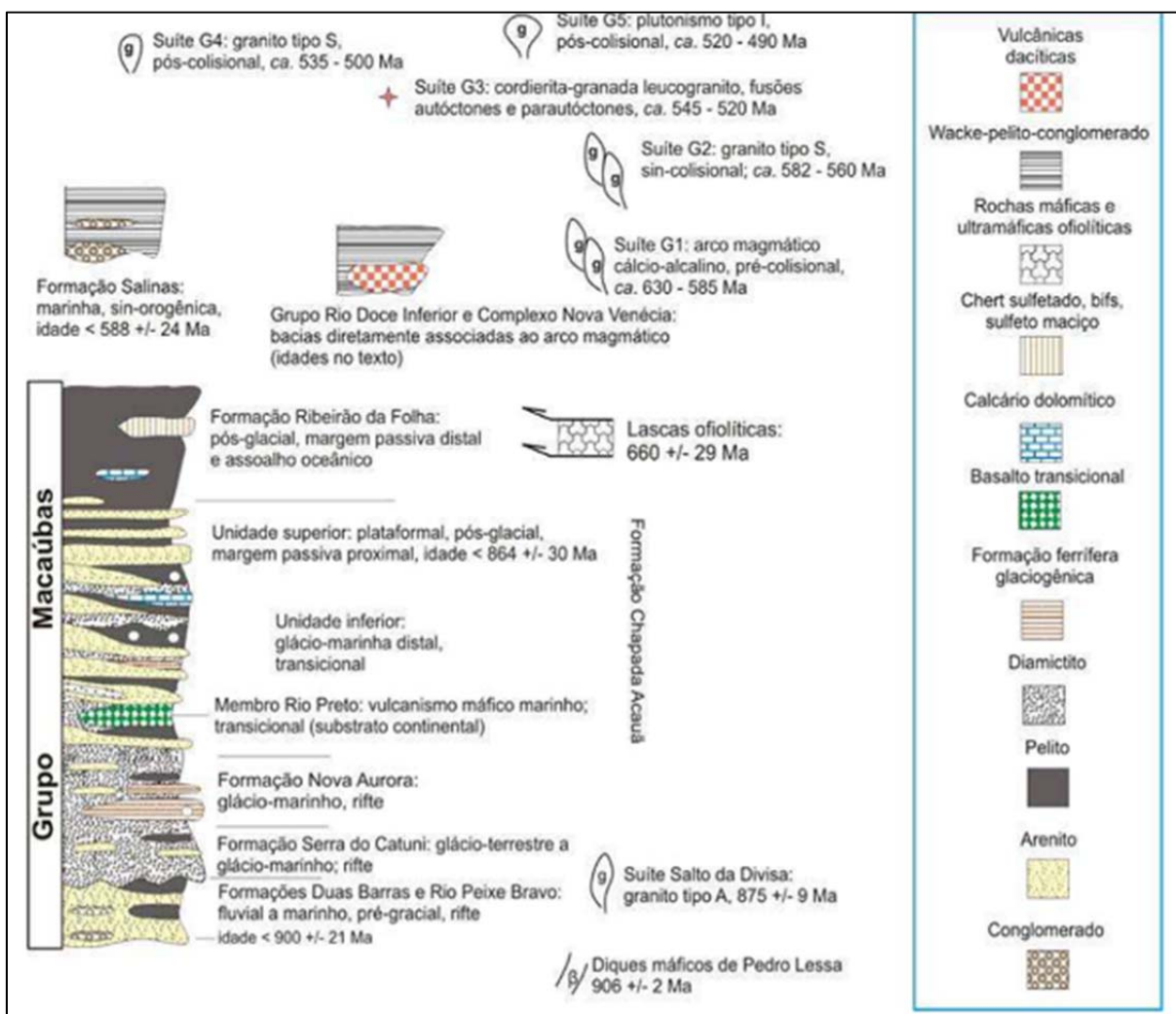


Figura 3.4.3 – Empilhamento estratigráfico do grupo Macaúbas na região do projeto.

3.5 GEOLOGIA LOCAL

A área do projeto está inserida na Formação Nova Aurora, composta por metadiamicritos de matriz arenoso-argilosa, com quartzo, hematita, magnetita, muscovita, clorita e biotita como minerais principais, ocorrendo também lentes de

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 23/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

filitos, xistos e quartzitos. Os clastos dos diamictitos são compostos principalmente por quartzitos, quartzo, xistos e rochas carbonáticas com tamanho variando de grânulo a bloco. A principal descontinuidade observada é uma foliação de direção N-S e mergulhos normalmente baixos para leste. Essa descontinuidade define o alinhamento principal observado nos contatos litológicos observados em mapa (Figura 3.5.1).

Os metadiamictitos são divididos em pacotes ricos em ferro, caracterizando o minério e pacotes com baixo teor de ferro, caracterizando o estéril. Observa-se que tanto no *footwall* quanto no *hanging wall* do minério as encaixantes são compostas exclusivamente por diamictitos distintos entre si (Figura 3.5.2).

Os metadiamictitos de *hanging wall* do minério são compostos por uma matriz com maior conteúdo em argila, ocorrendo também quartzo de granulometria areia fina, por vezes observa-se a ocorrência de clorita dispersa na matriz rochosa. Nota-se que essa litologia apresenta aspecto xistoso com clastos muito espaçados entre si.

Os metadiamictitos de *footwall* do minério são compostos por uma matriz arenosa argilosa, sendo composta principalmente por quartzo de granulometria areia fina a média, ocorrendo também muscovita e clorita dispersa nessa matriz. Os clastos variam de seixos a grânulo, compostos basicamente por quartzo, quartzito, quartzo xistos, clorita-quartzo xistos e rochas carbonáticas, sendo esses suportados pela matriz.

Essas unidades diferenciam-se entre si não apenas pela composição mineralógica, mas observa-se uma mudança significativa no ambiente geológico que levou a litificação de ambas as camadas. Nos metadiamictitos de *hanging wall*, observam-se ocorrências de cristais euédricos de hematita e magnetita, evidenciando, portanto, um ambiente oxidante. Já nos metadiamictitos de *footwall*, observa-se presença de cristais euédricos de pirita, indicando um ambiente redutor.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
24/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

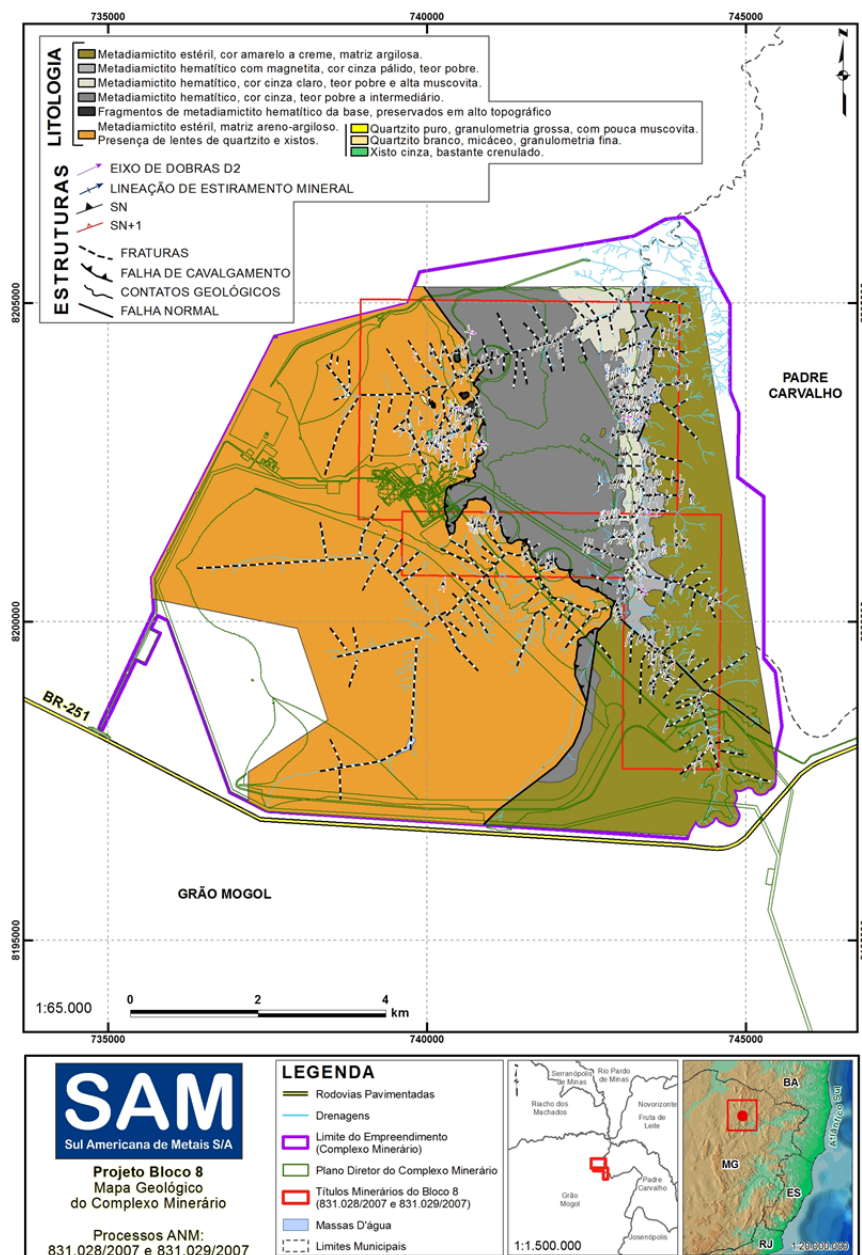


Figura 3.5.1 – Mapa geológico da área do bloco 8 (Modificado de relatório SAM bloco 8 – geologia).

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 25/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

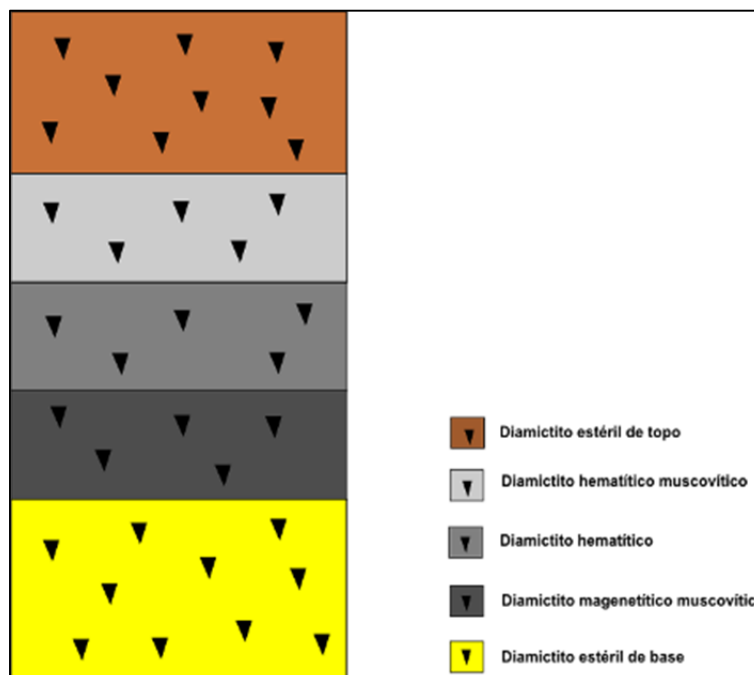


Figura 3.5.2 – Perfil estratigráfico esquemático para a área.

As unidades que constituem o minério são compostas por diamictitos ferruginosos, hematíticos de coloração acinzentada. Observa-se uma mudança gradual no ambiente geoquímico desse minério, sendo que no topo ocorre predomínio de minerais oxidados (hematita e magnetita) e na base há predomínio de minerais sulfetados (pirita e calcopirita), além dessa mudança geoquímica, ocorre transição gradual no teor de muscovita entre o diamictito de topo com a porção superior do pacote de minério. Sendo assim, divide-se o pacote mineralizado em três unidades distintas, a saber: metadiamictito hematítico muscovítico, metadiamictito hematítico e metadiamictito magnetítico muscovítico.

Os metadiamictitos hematíticos muscovíticos constituem o topo da zona mineralizada, sendo que seu contato tanto com a unidade estéril de topo quanto de base, ocorre de forma transicional. A matriz do metadiamictito hematítico possui textura similar à do metadiamictito estéril, no entanto nesta matriz, além dos minerais presentes na do metadiamictito estéril, contém hematita fina orientada segundo a foliação S1, e hematita especular concentrada em bandas que correspondem aos planos das foliações S1 e S2. A matriz apresenta, também, duas variedades de magnetita, parcial a totalmente martitizadas, sendo uma porfiroclástica, encontrada nas bandas de

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 26/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

hematita especular, e outra, porfiroblástica, disseminada pela matriz. O conteúdo total de magnetita é menor que 1%. A hematita fina e micas orientam-se de forma anastomosada, envolvendo os grãos de quartzo, feldspato e carbonato da matriz.

O metadiamicrito hematítico constitui a zona mineralizada de maior teor na área. Sua matriz areno-argilosa é constituída por quartzo de granulometria areia fina a média, predominando tamanho areia fina, hematita fina a raramente média, em sua maioria especular, muscovita fina a média e clorita de granulometria média. Os clastos são compostos por quartzo, sericita xistos, quartzo xistos e clorita-quartzo xistos e quartzitos finos a grossos, geralmente brancos e bastante recristalizados, sendo esses suportados pela matriz. Vale ressaltar que uma característica marcante dessa unidade é a presença de forte magnetismo nos cristais de hematita. Observa-se também um decréscimo no teor de ferro dessa camada partindo da base em direção ao topo.

O metadiamicrito magnetítico muscovítico compõe a base da zona mineralizada, fazendo contato tectônico com o metadiamicrito estéril de base (*footwall*). Sua matriz é composta principalmente por quartzo com granulometria areia fina a média, muscovita com granulometria média, magnetita subédrica a euédrica e hematita fina. Os clastos possuem tamanho variando de seixo a grânulo e são compostos por quartzitos finos a médios, brancos a amarelados, quartzo xistos e clorita-quartzo xistos, sendo rara a presença de rochas carbonáticas.

Observam-se lentes compostas por quartzitos brancos, quartzitos sericíticos, filitos e xistos intercalando os diamicritos. Sendo que essas lentes ocorrem de forma gradacional e em regiões localizadas.

A área do Bloco 8 apresenta elevada densidade de informação, com 483 sondagens, totalizando 66.168m com descrição da litologia. Nas descrições dos furos de sondagem são caracterizadas 16 litologias. Dentre as 16 litologias, 5 tipos litológicos englobam 98% da base de dados, o restante dos dados está distribuído em 11 litologias de pouca representatividade.

A Figura 3.5.3 apresenta a distribuição dos tipos litológicos nos furos, sendo possível verificar o padrão de distribuição das principais litologias. A distribuição das litologias pouco representativas não é claramente distinguível em relação às litologias predominantes.

O tipo litológico com maior frequência é o metadiamicrito compacto (DHC), com ocorrência na base da formação, predomínio na região leste e maiores espessuras no limite norte. A litologia metadiamicrito itabirítico (DI) ocorre na base da descrição da maioria dos poços nas porções elevadas a nordeste da área.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 27/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Ao observar a distribuição dos tipos litológicos principalmente na região oeste é possível notar a sequência da base para o topo das litologias:

- metadiamicrito compacto (DHC);
- metadiamicrito semi-compacto (DHS);
- metadiamicrito friável (DHF) e metadiamicrito estéril (DI);
- solo (SO)

Dentre as litologias pouco representativas, o minério laterítico (CG) apresenta padrão na distribuição, onde está associado abaixo do nível de solos na porção plana a oeste. O restante das litologias tem poucas ocorrências e sem padrão claro de distribuição

Em termos estruturais ocorrem três conjuntos de estruturas que são conhecidos regionalmente e se relacionam às fases deformacionais denominadas D1, D2 e D3, gerando a foliação principal (S1), a foliação de crenulação (S2) e os sistema de fraturas de direção NE-SW e NW-SE, respectivamente.

A foliação principal S1, associada à fase deformacional D1, possui direção principal N-S com mergulhos médios de 20 graus para leste, sendo que localmente esse pode variar chegando até 70 graus. Associado a essa foliação ocorre uma lineação de estiramento mineral *downdip* com a mesma, controlando assim as zonas mineralizadas.

A foliação S2, associada à fase deformacional D2, ocorre como uma clivagem espaçada de crenulação, sendo melhor observada nas litologias menos competentes, ricas em muscovita. Essa foliação apresenta direção geral N-S com mergulho médio de 44 graus, sendo plano axial a dobras assimétricas de eixo sub-horizontal.

A fase de deformação D3 associa-se a intenso faturamento subvertical, gerando duas famílias distintas de fraturas de direção NW-SE e NE-SW, respectivamente. Essas fraturas dão origem a lineamentos que podem ser visualizados em imagem de satélite, segmentando os lineamentos referentes ao *trend* regional N-S.

A estrutura geológica é marcada por uma discordância angular que divide a área entre a porção leste e oeste, esta última, em escala regional, apresenta camadas litológicas dispostas horizontalmente. Enquanto na porção leste as unidades litológicas ocorrem com inclinação para esta mesma direção. Esta característica pode ser observada ao analisar o topo do embasamento que apresenta maior caimento a leste. Isso resulta na menor espessura da região oeste e maiores espessuras a leste (Figura 3.5.4).



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
28/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

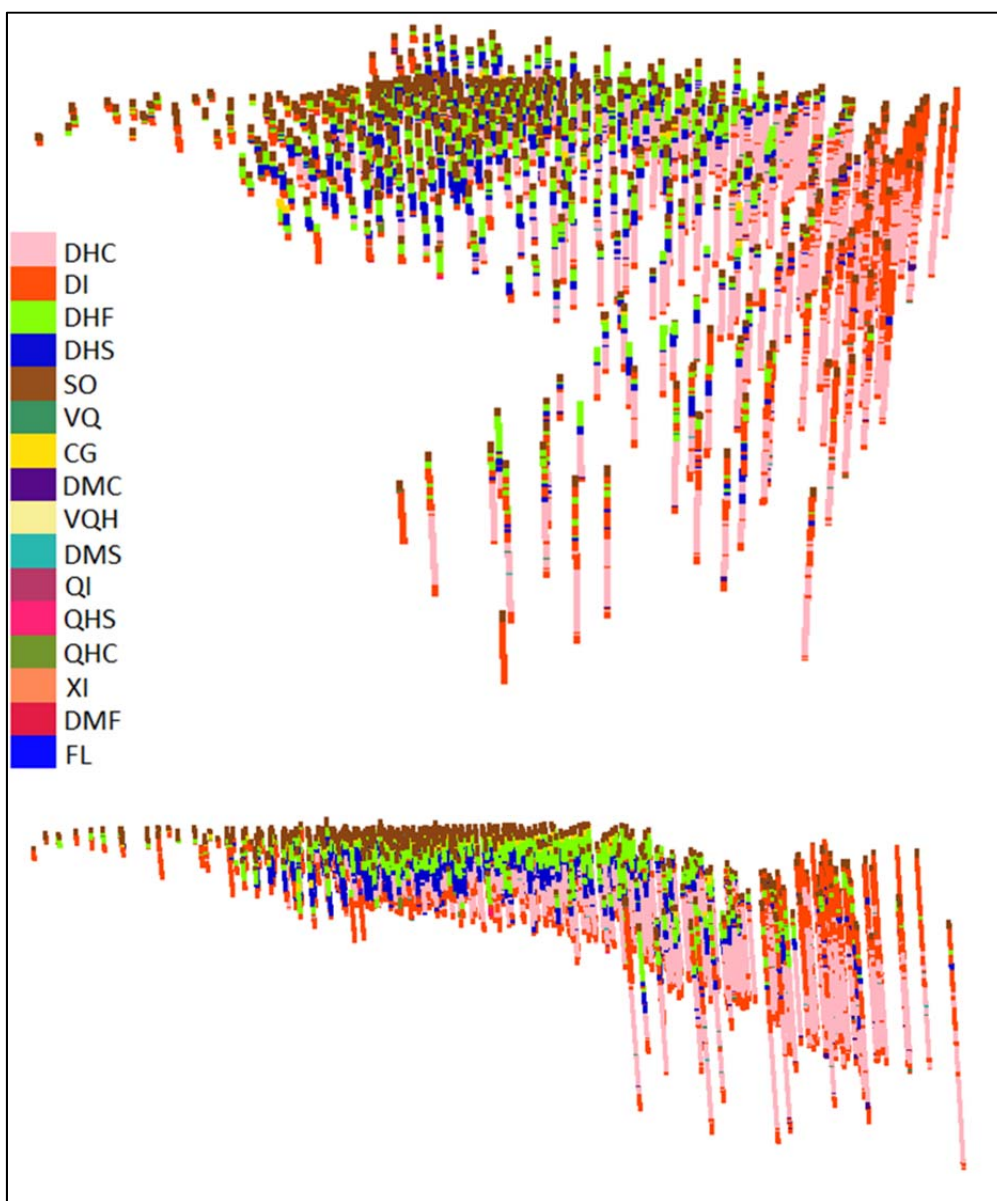


Figura 3.5.3 – Distribuição dos litológicos nos furos de sondagem (WALM, 2013)



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 29/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

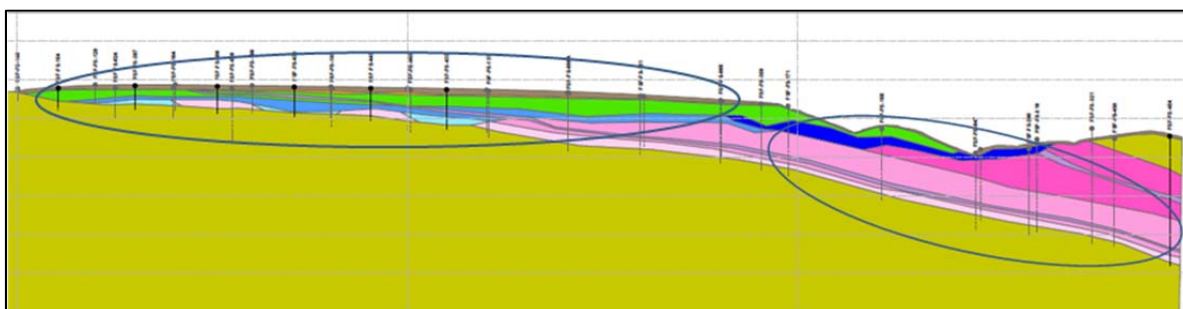


Figura 3.5.4 – Seção geológica 8203100 com destaques para os caimentos das camadas das porções leste e oeste (WALM, 2013)

4. ANÁLISE HIDROGEOLÓGICA E MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL

O modelo hidrogeológico conceitual consiste na organização de informações relacionadas à hidrogeologia do local, em forma de textos, gráficos, diagramas, figuras e mapas, com intuito de reproduzir a compreensão do comportamento do sistema hídrico subterrâneo. Constitui, portanto, na compilação, interpretação e síntese dos dados hidrogeológicos relevantes da área de interesse.

O presente capítulo visa por meio do modelo hidrogeológico conceitual: i) entender a geometria, características dos sistemas aquíferos presentes e suas relações com corpos hídricos superficiais; e ii) representar as condições de circulação e armazenamento das águas subterrâneas, desde a infiltração no solo, até a descarga (em surgências e demais estruturas).

A caracterização hidrogeológica da área foi realizada com base nos dados secundários. Para o entendimento das condições de circulação das águas subterrâneas são avaliados os componentes que afetam o balanço hídrico, bem como as descargas e as recargas, e o monitoramento das cargas hidráulicas. A partir da avaliação de dados monitorados é realizada a interpretação das principais direções de fluxo, representadas através do mapa potenciométrico.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 30/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

4.1 DADOS DE MONITORAMENTOS

4.1.1 Nascentes

O cadastro das nascentes existentes na área do complexo minerário foi realizado por equipe da SAM, em duas campanhas (uma na estação seca e outra na estação chuvosa), no ano de 2014. Ao todo, na área foram cadastrados 138 pontos, sendo que em 59 pontos não foi possível monitorar a vazão (Figura 4.1.1).

As vazões nas nascentes foram medidas pelo método volumétrico, obtidas pela razão entre volume de água coletado no balde graduado e o tempo necessário para a coleta. Na maioria das nascentes cadastradas, as vazões verificadas foram inferiores a 5 L/s, sendo a média geral de 0,5 L/s. Todas essas informações estão expostas em maior detalhe no **Anexo 01.**



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
31/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

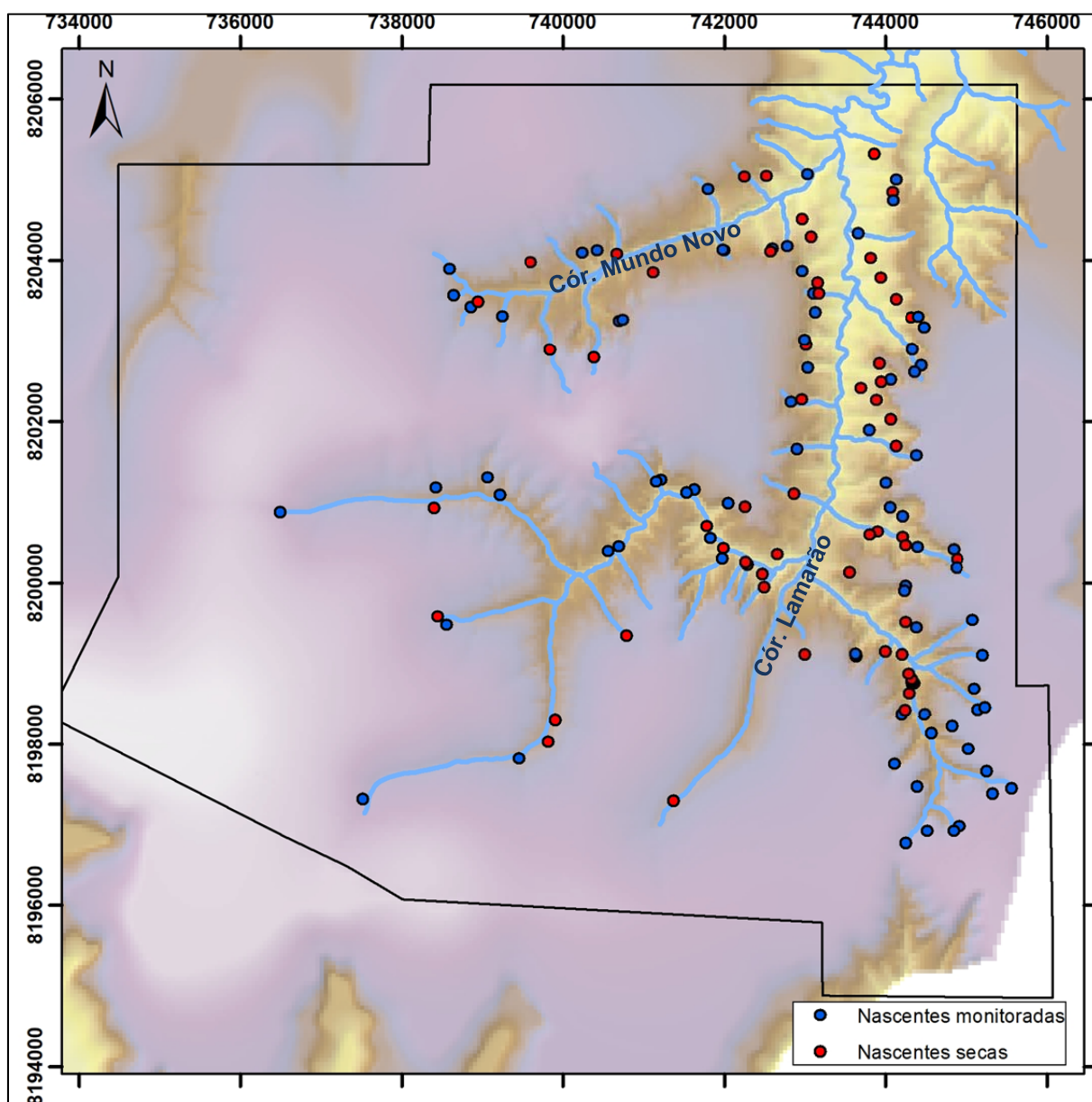


Figura 4.1.1 – Cadastro de nascentes no entorno do projeto

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 32/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

4.1.2 Piezometria

Para os desenvolvimentos hidrogeológicos preliminares foram instalados 16 piezômetros na área da cava (Golder, 2011). As leituras dos equipamentos foram iniciadas em novembro de 2010 tendo sido coletadas uma medida a cada semana. As informações dos piezômetros estão expostas na Tabela 4.1.1 e suas localizações podem ser observadas na Figura 4.1.2.

Tabela 4.1.1: Dados dos Piezômetros Existentes na Área da Cava

ID Piezômetro	Leste (m)	Norte (m)	Cota (m)	Profundidade Executada (m)	Profundidade do N.A (2016) (m)
FSF-FS-012	742.300,92	8.202.458,98	875,6	124,06	40,6
FSF-FS-235	741.407,42	8.201.402,91	861,4	41,60	39,0
FSF-FS-280	741.400,77	8.204.194,88	806,0	114,20	13,7
FSF-FS-024	741.252,36	8.203.220,34	880,4	80,09	43,5
FSF-FS-285	741.175,17	8.204.618,50	848,3	165,30	37,6
FSF-FS-231	742.167,25	8.204.800,88	807,1	174,45	37,3*
FSF-FS-073	742.403,83	8.201.400,22	870,0	118,50	49,7
FSF-FS-242	743.217,67	8.200.056,05	770,1	77,60	11,3*
FSF-FS-240	743.591,52	8.203.199,40	724,8	227,10	19,7
FSF-FS-270	742.820,67	8.205.016,71	772,3	239,20	29,3
FSF-FS-258	743.596,64	8.202.399,79	755,7	212,50	27,9
FSF-FS-263	743.437,82	8.201.271,67	768,5	125,85	39,8
FSF-FS-057	741.205,01	8.202.399,89	906,8	42,15	39,6
FSF-FS-228	742.389,96	8.204.206,45	793,6	171,10	5,1
FSF-FS-065	742.007,65	8.203.197,98	876,6	115,80	38,5
FSF-FS-168	742.970,22	8.203.571,53	839,3	214,10	50,0

*Nota: os piezômetros FSF-FS-242 e FSF-FS-231 foram estão inoperantes desde dez de 2014 e março de 2015



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
33/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

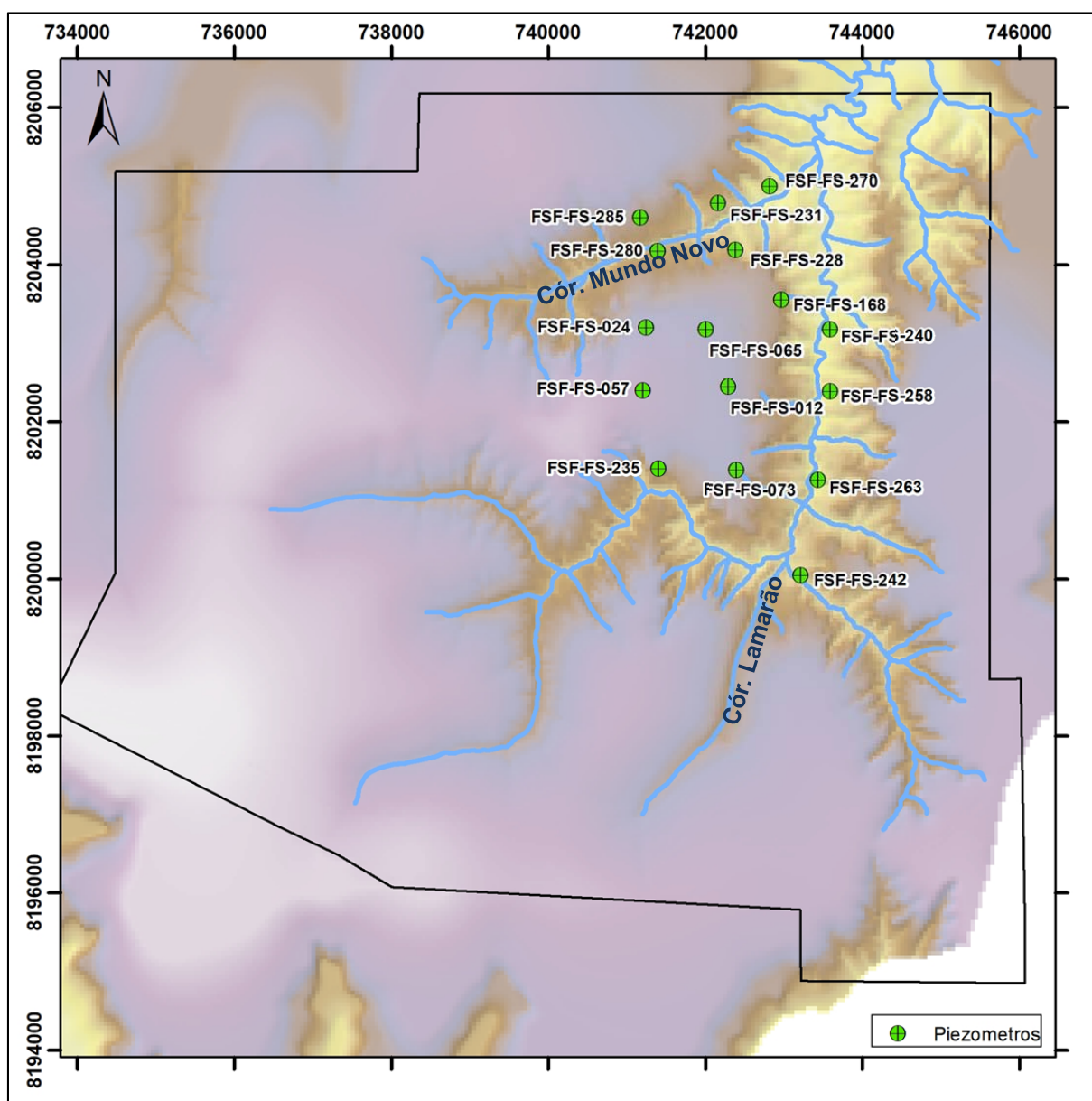


Figura 4.1.2 – Localização dos piezômetros

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 34/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

O gráfico da Figura 4.1.3 apresenta a variação do nível d'água de novembro de 2010 a abril de 2016, dos piezômetros localizados na porção nordeste da área e da margem direita do córrego Lamarão, os quais apresentam a cota do nível d'água, entre 780 e 700 m.a.n.m.

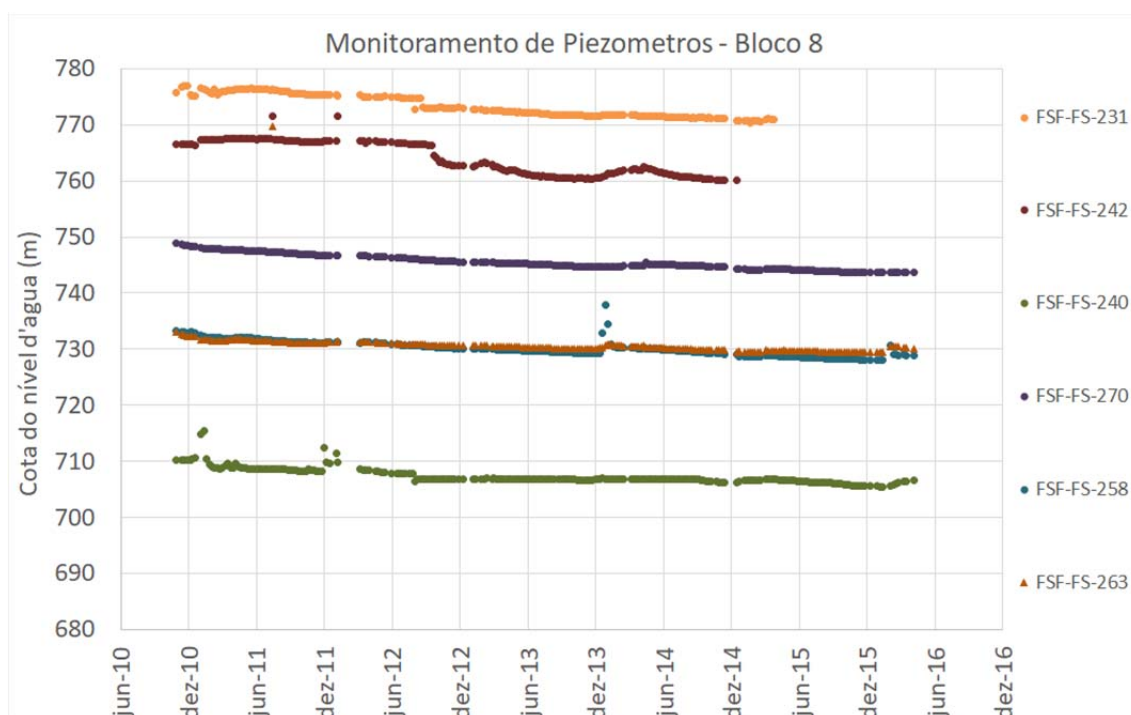


Figura 4.1.3 – Variação do nível d'água nos piezômetros localizados a nordeste e a margem direita do córrego Lamarão.

Observa-se na Figura 4.1.3 um rebaixamento geral os níveis d'água, entre 3 (FSF-FS-263) e 6 metros (FSF-FS-242). Esse rebaixamento, provavelmente é representativo de um rebaixamento natural do aquífero por diminuição da recarga, uma vez que os índices de chuva entre 2010 e 2017, em geral, encontram-se muito abaixo da média histórica.

E o gráfico da Figura 4.1.4, apresenta, para o mesmo período citado, a variação do nível d'água para os piezômetros localizados no divisor da margem esquerda do



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
35/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

córrego Lamarão e margem direita do córrego Mundo Novo, situados entre 870 e 790 m.a.n.m.

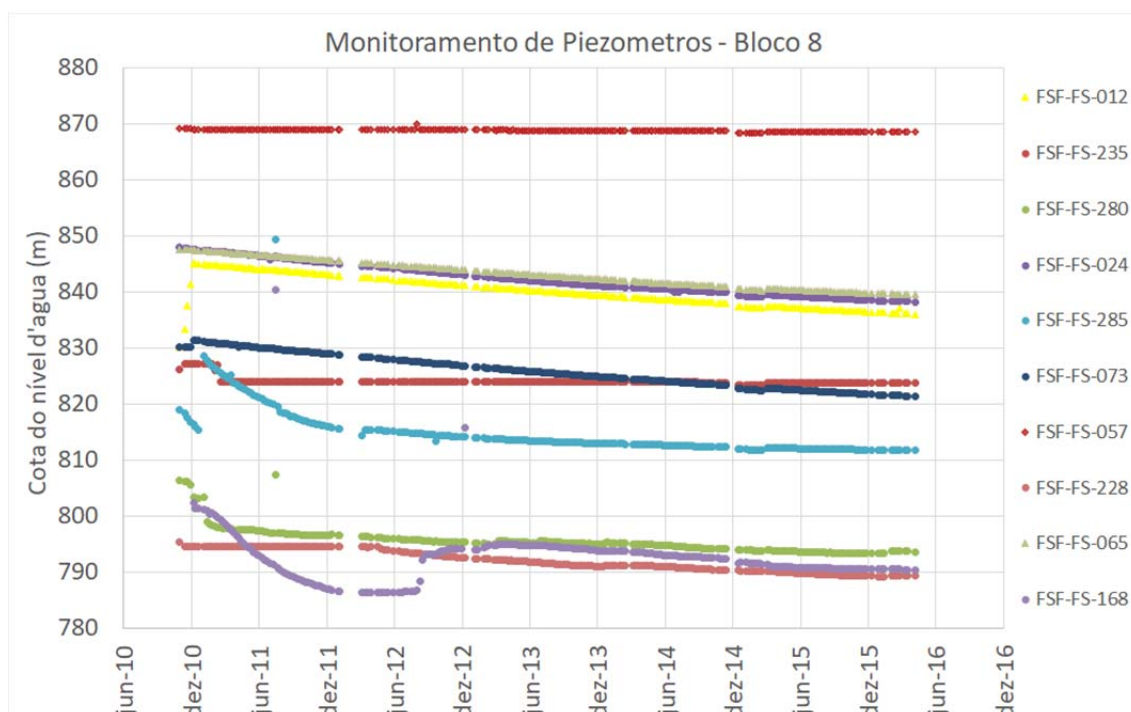


Figura 4.1.4 – Variação do nível d'água nos piezômetros localizados no divisor de água entre os córregos Lamarão e Mundo Novo.

Também na Figura 4.1.4 se observa um rebaixamento geral os níveis d'água, entre 6 (FSF-FS-228) e 12 metros (FSF-FS-280).

Os piezômetros FSF-FS-285 e FSF-FS-168, diferem do padrão no primeiro ano de monitoramento, e possivelmente, estes piezômetros localizam-se em rochas pouco permeáveis, demorando mais tempo que os demais para estabilizar-se.

Os piezômetros FSF-FS-235 e FSF-FS-235 também se diferem dos demais, por se apresentarem com o nível mais constante ao longo do tempo. Ressalta-se que estes piezômetros estão localizados nas porções mais elevadas da área.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 36/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

4.1.1 Potenciometria

A partir dos dados de elevação dos pontos d'água obtidos no inventário hidrogeológico desenvolvido pela Golder (2011), estabeleceu-se uma superfície representativa do nível d'água na área de estudo, correspondente ao início do período de estiagem.

A Figura 4.1.5 a seguir apresenta a superfície potenciométrica referente à área estudada onde pode ser observado que as maiores elevações do nível freático são obtidas nos locais de topografia mais elevada, onde o lençol é atingido a partir de 30m de profundidade, em média. Mais próximo dos talwegues, a profundidade média do lençol diminui. Dessa forma, a conformação da superfície freática se assemelha à da topografia local, porém mais suavizada, conforme já era esperado nesse tipo de conformação morfológica. Cabe lembrar que as isolinhas da Figura 4.1.5 são uma primeira representação do nível freático, precisando, ainda, de um melhor refinamento a partir de uma coleta de dados com maior representatividade espacial.

A análise de perfis geotécnicos da área permitiu definir que a porção granular desse sistema apresenta uma espessura média de 25 m. O metadiamicrito semi-compacto, fraturado, possui espessura média em torno de 15 m.

Dessa forma, conclui-se que na área a água subterrânea encontra-se efetivamente armazenada no sistema fissural, ficando porções menores dessa área o armazenamento no sistema granular. Além disso, ressalta-se também que o assim chamado "aquífero granular", atua principalmente como unidade de transmissão para a água que efetivamente infiltra em subsuperfície e menos como unidade de armazenamento de água subterrânea, um conceito intrínseco à definição de aquífero.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
37/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

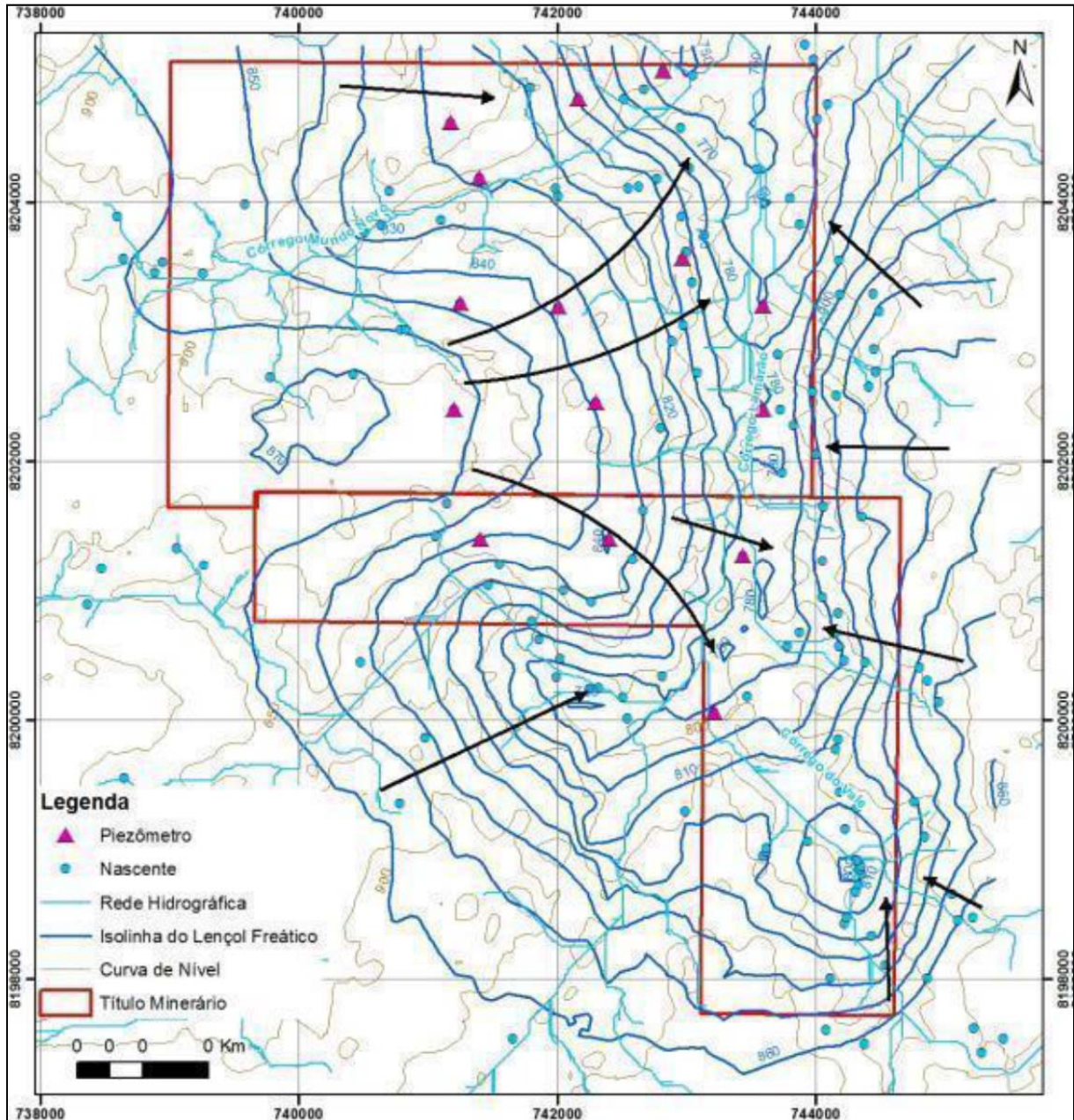


Figura 4.1.5 – Mapa potiométrico e principais direções do fluxo (Fonte: GOLDER, 2011)

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 38/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

4.2 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

De acordo com dados levantados pela Golder (2011) comprovou-se que as propriedades hidrodinâmicas dos materiais presentes se correlacionam fortemente com as suas características geotécnicas, ambas definidas em função do grau de faturamento e de intemperismo.

Em virtude dos fatos considerados acima, nas áreas de interesse foi identificado um sistema aquífero misto do tipo livre sobreposto a um aquíclode.

O sistema aquífero misto é caracterizado por apresentar-se composto por uma camada superior de materiais intemperizados e com porosidade essencialmente granular e, outra, de materiais menos intemperizados, mas com porosidade fissural (Golder, 2011). É importante ressaltar que o contato hidráulico entre esses dois sistemas (granular e fissural) é direto, ocorrendo uma passagem gradacional entre os materiais.

A porção granular do sistema aquífero está topograficamente acima da fissural e é representada, de cima para baixo, por:

- Uma cobertura de solo;
- Um saprolito do metadiamicrito, geralmente bastante friável; e,
- Uma camada de metadiamicrito semi-compacto a compacto intemperizado, mas bastante poroso.

Com a observação de furos de sondagem dos testemunhos então coletados, notou-se que a porção granular apresenta média a alta condutividade hidráulica e indicando uma possível capacidade de armazenamento de água nos interstícios dos grãos de sedimentos inconsolidados e de rochas intemperizadas. Está distribuído em formações superficiais, formando aquíferos contínuos, livres, heterogêneos e levemente anisotrópicos que constituem o principal elemento pelo qual a recarga do sistema subsuperficial se processa. Em função da variedade dos fatores físico-químicos durante a formação dos sedimentos e meteorização das rochas, as porosidades e permeabilidades são bastante diversificadas.

A porção fissural do sistema aquífero misto é composta por metadiamicritos semcompactos a compactos, fraturados. Observando os trechos de testemunhos de sondagem, nota-se que esses materiais apresentam baixa a média condutividade hidráulica, porosidade secundária, com armazenamento e transmissão da água somente em fraturas. É encontrado em profundidades variadas, e, em geral, encontra-se saturado em água. Está distribuído em toda a área e é delimitado inferiormente por metadiamicritos compactos. Formam aquíferos livres, heterogêneos e anisotrópicos.

Abaixo do sistema aquífero misto é observado um metadiamicrito compacto que funciona como um aquíclode, restringindo a circulação de água somente às camadas superiores. Não foram observados sinais de percolação de água analisando visualmente alguns testemunhos (Golder, 2011).

Ensaio de infiltração foram realizados na área da cava durante a perfuração dos furos de sondagem à percussão (Golder, 2011). A partir deles, pode-se observar que a condutividade hidráulica do sistema granular em geral é alta, apresentando algumas intercalações de camadas menos condutivas.

No entanto, é importante destacar que os furos de sondagem a percussão alcançam profundidades rasas e, portanto, não representam o sistema fissural onde se encontra armazenada a água subterrânea e onde se espera obter altos valores de condutividade hidráulica. Os testes de infiltração



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 39/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

em solo na região do Bloco 8 foram realizados principalmente nas áreas da cava e da planta industrial. Seus resultados apontam que a permeabilidade dos solos ali presentes tem grande variabilidade na sua ordem de grandeza, tanto lateralmente quanto verticalmente. Contudo, de modo geral, se correlacionam com as texturas dos metadiamicititos que ocorrem nessas áreas.

Ainda de acordo com Golder (2011), na área da cava (Bloco 8) onde afloram os metadiamicititos hematíticos, os perfis verticais de permeabilidade obtidos a partir dos testes de infiltração demonstraram não haver um padrão típico, ou seja, a permeabilidade não varia de maneira constante. Analisando-se de maneira geral, percebe-se que na área em questão prevalecem perfis com valores mais elevados de permeabilidade, especialmente próximo das bordas do platô. Por outro lado, na área da planta industrial predominam perfis de solos com menor permeabilidade, derivados do metadiamicitito estéril de característica argilosa

4.3 INTERFERÊNCIA COM A OPERAÇÃO MINERÁRIA

De acordo com estudos já desenvolvidos até o momento, o sequenciamento da lavra será desenvolvido em painéis de modo a propiciar a liberação de área em cava final para utilização da área para deposição de rejeito seguindo o conceito de “*backfilling*”.

A distribuição de minério e estéril contida em cada setor da mina será utilizada para desenvolvimento de um sequenciamento, assumindo critérios tais como: exposição contínua de minério, operacionalidade da lavra, consistência na movimentação total e teores de alimentação na planta mais elevados no início da produção comercial. A vida útil da mina será de 18 anos mais o período de pré-produção.

A cava final terá dimensões 4,6 x 2,9 km, contendo cerca de 2500 Mt, sendo 2250 Mton de material considerado minério e aproximadamente 250 Mt consideradas estéril. Devido às restrições topográficas e ambientais na superfície do empreendimento, será adotado o conceito do *backfilling* sendo este concomitante a lavra, consistindo no enchimento da cava com parte do rejeito e estéril de forma conjugada. O estéril gerado no desenvolvimento da lavra será utilizado na construção dos barramentos para confinamento dos volumes previstos do rejeito a serem depositados na cava. Este enchimento está dimensionado de forma a comportar parte do material a ser gerado durante a lavra e operação da usina (estéril + rejeito). Este conceito sugere que a lavra deve ser realizada em painéis de modo a se atingir a configuração final da cava e com isso liberar área para que possa ser depositado o material (rejeito + estéril).

Para analisar, conceitualmente, como a operação do empreendimento irá intervir na água subterrânea, é necessário considerar as duas principais interferências:

- (i) escavação;
- (ii) disposição de rejeito/ estéril



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 40/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

4.3.1 Escavação

Com base nas informações disponíveis até o momento: dados de nível d'água de 16 piezômetros, cota do terreno da área do Bloco 8 e o plano de lavra fornecido pela SAM, é possível constatar que a interferência da escavação nas águas subterrâneas está, aproximadamente, numa profundidade de 40 metros da superfície original da área. Esta interferência ocorrerá no início da lavra, quando os painéis estiverem sendo desenvolvidos na parte oeste da cava.

Com o avanço da operação de oeste para leste a coluna d'água (com base no nível do N.A) aumenta significativamente com valor mínimo no início da lavra a oeste em 20 m e máximo de 267 m a nordeste da área, local de maior profundidade da área da cava em face da operação. É importante salientar que estas informações são conceituais e foram concebidas com base nas informações existentes até o momento, parâmetros importantes como transmissividade, condutividade hidráulica e ensaios geotécnicos das hidrofácies presentes na área não foram considerados. Estes parâmetros são fundamentais para a obtenção da relação entre escoamento e infiltração da água subterrânea que será interceptada ao longo do empreendimento e para o cálculo de volume com maior precisão da água que ficará acumulada na cava da mineração, tanto na fase de operação quanto após a cessação das atividades minerárias, serão determinados durante a fase de engenharia básica.

4.3.2 Disposição de Rejeito / Estéril

A configuração final para a disposição de rejeitos e estéril do Projeto, inclui a Barragens 01 e Barragem 02, além do Backfill. A seguir é apresentada uma breve descrição das possíveis interferências destas nas águas subterrâneas.

- **Backfill:**

Na frente de disposição de estéril/rejeito, a área ocupada será parte da mesma antes ocupada pelo corpo mineralizado. Esse material, disposto de forma combinada, deverá formar um maciço bastante heterogêneo, composto de solos, saprolitos e blocos de rocha de tamanhos variados - correspondendo ao estéril da mina - assim como de sólidos em fração fina (provavelmente com distribuição granulométrica semelhante à de uma areia fina).

Com isso, esse maciço poderá apresentar boas condições de armazenamento de água nas suas porções inferiores, na medida em que a fração fina for se deslocando verticalmente e se adensando. Além disso, o material superior, com uma textura mais grosseira, deverá se apresentar favorável à infiltração de água. Assim, a pilha de estéril/rejeito que se formará na retaguarda da frente de lavra deverá se constituir em material com boa capacidade de armazenamento e condução de água subsuperficial, cuja quantidade de água (em termos de volume/área de infiltração) deverá ser maior em relação às condições atuais.

Dessa forma, concebe-se que a base da pilha de estéril/rejeito, assentada sobre o maciço compacto, deverá ser uma área de recarga do aquífero, incluindo infiltrações provenientes da disposição de rejeitos saturados.



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 41/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

O depósito de rejeitos a ser formado entre a pilha de estéril e o contorno final da cava também se apresenta como favorável para infiltração de água.

- **Barragens 01 e 02**

Em função, das dimensões espaciais das barragens previstas, das constituições mais porosas das praias e depósitos de rejeito em relação às condições naturais, do grau de saturação do meio e da maior capacidade de armazenamento e de condução de água, todo este pacote de rejeito / estéril pode ser considerado como um aquífero artificial.

Após o descomissionamento da mina, restará nessas barragens uma grande parte do seu volume ocupado por rejeito com cobertura vegetal (revegetação) e um pequeno lago de amortecimento para o escoamento superficial. Nesse contexto, em função do volume de material sedimentado e das propriedades hidrodinâmicas, poder-se-ão formar relativos aquíferos artificiais, que modificarão o comportamento hidrogeológico local.

A implantação das respectivas barragens de rejeito/estéril de certa forma levará a uma mudança no regime hidrogeológico local, onde haverá uma maior taxa de infiltração de águas nestas áreas. Esta maior taxa de infiltração, bem como as características físicas (granulometria e permeabilidade) do material que será disposto poderão formar um sistema aquífero poroso com alta disponibilidade hídrica, relativamente às condições originais, e que possa servir como recarga dos rios presentes na região da lavra, como o córrego Lamarão e Mundo Novo, aumentado as respectivas vazões destes últimos.

E importante salientar que estas considerações feitas sobre a interferência do empreendimento nas águas subterrâneas são somente conceituais e não consideram alguns parâmetros hidrogeológicos importantes como condutividade e transmissividade das diferentes camadas de litotipos que serão interceptadas pela lavra e também do rejeito / estéril que serão depositados.

4.4 RECARGA E DESCARGA

A recarga do sistema aquífero na área do projeto se faz por infiltração direta da precipitação atmosférica nos solos, em áreas que coincidem com os topos dos platôs, onde a topografia é mais elevada.

A natureza argilosa dos materiais de cobertura e a posição relativamente rasa do topo rochoso produz pouca infiltração, favorecendo o escoamento superficial. Desta forma, a elevada taxa de escoamento superficial combinada com o baixo índice pluviométrico da região e a alta evaporação, característica do clima Tropical Quente Semiúmido do norte de Minas Gerais, faz com que a taxa de recarga seja muito baixa.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 42/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Observando-se o grande número de nascentes encontradas na região e a pequena distância entres esses pontos e as áreas de recarga, pressupõe-se que o tempo de permanência das águas subterrâneas nesse aquífero superficial seja curto.

A descarga deste sistema é feita em nascentes que se localizam em praticamente todos os talwegues modelados no terreno. Na área de estudo todas estas nascentes drenam para o Córrego Lamarão. É importante destacar que, a montante da área da cava, na porção sul, todas as nascentes drenam para este córrego (Golder, 2011).

Em virtude do que foi apresentado anteriormente podem ser levantados alguns pontos importantes: primeiro, a constatação da baixa disponibilidade hídrica subterrânea na área do projeto, em função tanto da baixa pluviosidade no local como da baixa taxa de infiltração de água durante os eventos de precipitação. Caso a infiltração de água para subsuperfície fosse maior, haveria capacidade de seu armazenamento no aquífero granular. Por último, o fato do armazenamento de água subterrânea nas áreas ser baixo e se concentrar, principalmente, no sistema aquífero fraturado.

4.5 DOMÍNIO DO MODELO

A Figura 4.5.1 apresenta os limites do domínio hidrogeológico do Projeto Bloco 8.

Considerando a natureza de aquíclude (formação sem capacidade de armazenamento e condução de águas subterrâneas) das rochas no entorno da lavra, representado pelos metadiamiclitos compactos, não fraturados, os limites do modelo hidrogeológico, restringiram-se:

- Córrego Mundo Novo, nas porções oeste e Norte; e
- Divisor de águas da margem direita do córrego Lamarão, nas porções sul e leste.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
43/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

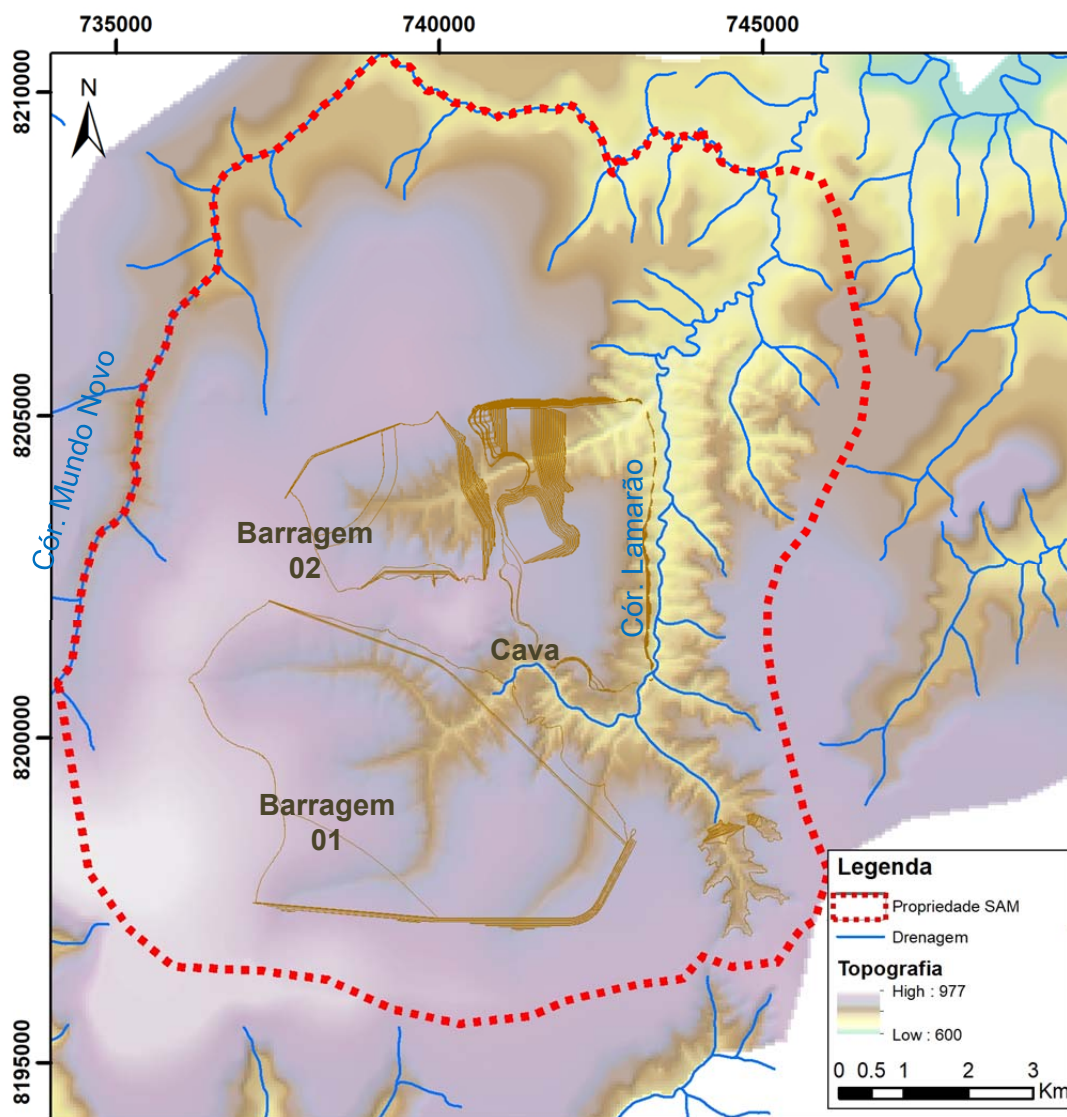


Figura 4.5.1 – Domínio hidrogeológico

5. MODELO HIDROGEOLOGICO NUMÉRICO

Este capítulo apresenta a construção do modelo numérico destinado a avaliar os fluxos na área de estudo antes e durante o rebaixamento da cava e da implantação das barragens, compreendendo as seguintes etapas:

Construção do modelo numérico: baseou-se nas informações do modelo conceitual, onde se incluiu a definição dos limites do domínio, a geometria das unidades hidroestratigráficas, a definição da malha de cálculo, as condições de contorno, as taxas de recarga, os parâmetros hidráulicos e os poços de monitoramento para avaliar as respostas do modelo;

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 44/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Calibração: etapa onde foi realizada a verificação da capacidade do modelo de reproduzir as condições hidrogeológicas. Para isso foi feita uma comparação entre os valores observados e calculados de nível d'água com intuito de se chegar em um erro aceitável e situação condizente com o descrito no modelo conceitual;

Simulações: foram realizadas em regime estacionário (equilíbrio), utilizando-se dos mesmos parâmetros hidráulicos calibrados. Foram considerados dois cenários:

- Cenário 1: máximo rebaixamento da cava, sem as estruturas de represamento (exclusivamente por recarga natural); e
- Cenário 2: máximo rebaixamento incluindo as águas infiltradas pelas barragens e backfill

5.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO

O modelo foi elaborado através do pacote Visual MODFLOW® 2011.1 que permite a simulação hidrogeológica, no meio saturado, em regime permanente e transiente, em ambiente tridimensional e pelo método das diferenças finitas.

5.1.1 Limites e definição da malha de cálculo

De acordo com a análise desenvolvida durante a construção do modelo conceitual, o modelo hidrogeológico apresenta seu domínio nas sub-baciais do córrego Lamarrão e córrego Mundo Novo, sendo limitado pelos seus divisores ou talvegues. A área é limitada pelas coordenadas UTM 734.050 a 746.650 leste, e 8.195.470 a 8.210.670 norte (Figura 5.1.1).

A definição da malha foi associada ao tamanho da área modelada, sendo o tamanho de cada célula definido na escala das informações geológicas e hidrográficas. O modelo compreende uma extensão de 12,5 quilômetros na direção leste-oeste e de 15,2 quilômetros na direção norte-sul, abrangendo uma área superior a 190 km². As abscissas (eixo X) estão divididas em 125 colunas e as ordenadas (eixo Y) dividem-se em 152 linhas, com espaçamento uniforme de 100 x 100 m.

Os limites verticais (eixo Z), topo e base, foram definidos pela topografia natural do terreno, com as cotas variando entre 600 e 980 m.a.n.m; o limite vertical de base foi fixado na cota 0 m, cerca de 500 m abaixo do limite inferior da cava, localizada em rochas de baixa permeabilidade em profundidade. O modelo foi dividido em 9 camadas de espessuras variáveis (Figura 5.1.1) capazes de representar a topografia natural e a geometria das unidades hidroestratigráficas.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
45/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

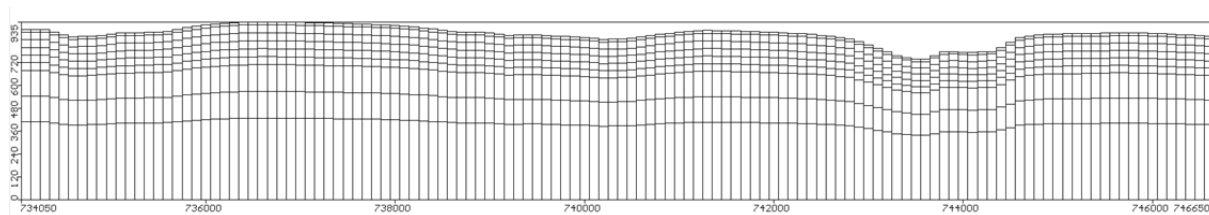


Figura 5.1.1 – Malha horizontal e seção vertical (exagero vertical 2x) do modelo numérico

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 46/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

5.1.2 Parâmetros Hidráulicos

A parametrização foi implementada por meio das informações levantadas do perfil do solo e da geologia local, onde se realizou a distribuição geométrica de 6 unidades hidroestratigráficas, sendo três em ordem descendente de profundidade do metadiamicrito estéril, e outros três com a variação do grau intemperismo do minério, conforme apresentado na Tabela 5.1.1 e na e Figura 5.1.2.

Tabela 5.1.1: Unidades hidroestratigráficas representadas no modelo.

Unidade Hidroestratigráfica	Propriedade	Camadas
Solo Residual e Canga		1 e 2
Diamictito Alterado (friável)		1 a 7
Diamictito Compacto		8 e 9
Diamictito Hematítico Friável		1 a 3
Diamictito Hematítico Semi-Compacto		1 a 6
Diamictito Hematítico Compacto		1 a 8

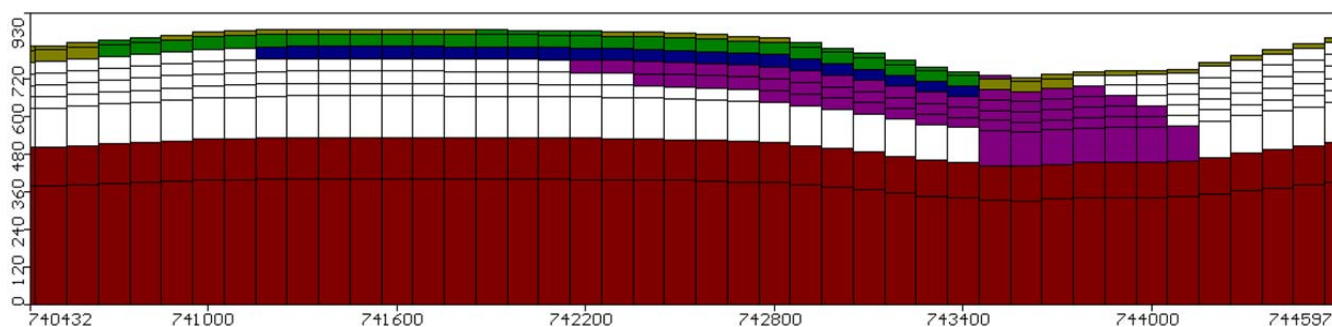


Figura 5.1.2 – Distribuição das propriedades hidráulicas em seção W-E (seção 74 - 8.203.300 N).



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 47/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

5.1.3 Condições de Contorno

Ao serem definidos os limites do domínio é atribuída a primeira condição de contorno, equivalente, neste caso, a área de drenagem das sub-bacias em questão. As células localizadas fora do limite foram definidas como inativas e interpretadas pelo modelo, como células de fluxo nulo, ou seja, não existe fluxo de água subterrânea através destas células.

A recarga caracteriza uma condição de entrada de água no modelo e foi distribuída uniformemente sobre a área do modelo. A estimativa de recarga foi estabelecida a partir do valor médio do excedente hídrico acumulado nos meses em que pluviometria supera a evaporação, equivalente ao acumulado de 290 mm/ano. Conforme descrito no modelo conceitual, a natureza argilosa dos materiais produz uma lenta infiltração, favorecendo o escoamento superficial. Desta forma, supõe-se uma recarga máxima de 50% do excedente hídrico e uma mínima de 10%, ou seja, a recarga deve estar entre 145 e 30 mm/ano. Durante o processo de calibração, o melhor ajuste obtido foi estabelecido por uma recarga de 86 mm/ano, o equivalente aproximadamente 390 L/s.

É importante mencionar que o valor de recarga apresentado acima é equivalente a recarga natural obtida durante o processo de calibração e, no entanto, durante as simulações foi utilizada uma nova recarga para a representação das recargas artificiais produzidas pelo depósito de rejeito dentro da cava. Maiores detalhes são apresentados mais adiante, no item de simulação.

Também foram atribuídas ao modelo, as condições de saídas de água, por meio dos “drenos”, inseridos nos principais talvegues de drenagem. Na Figura 5.1.4 pode-se visualizar a posição dos drenos (cinza), enquanto na Tabela 5.1.2 são apresentados os valores atribuídos os intervalos de cota de cada uma destas condições de contorno.

Tabela 5.1.2: Condições de contorno de saída inseridas no modelo.

Condição de Contorno	Local	Cota (m)	Condutância (m ² /d)
Dreno	Mundo Novo	915 – 700	1.000
Dreno	Lamarão	892 – 700	1.000

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 48/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

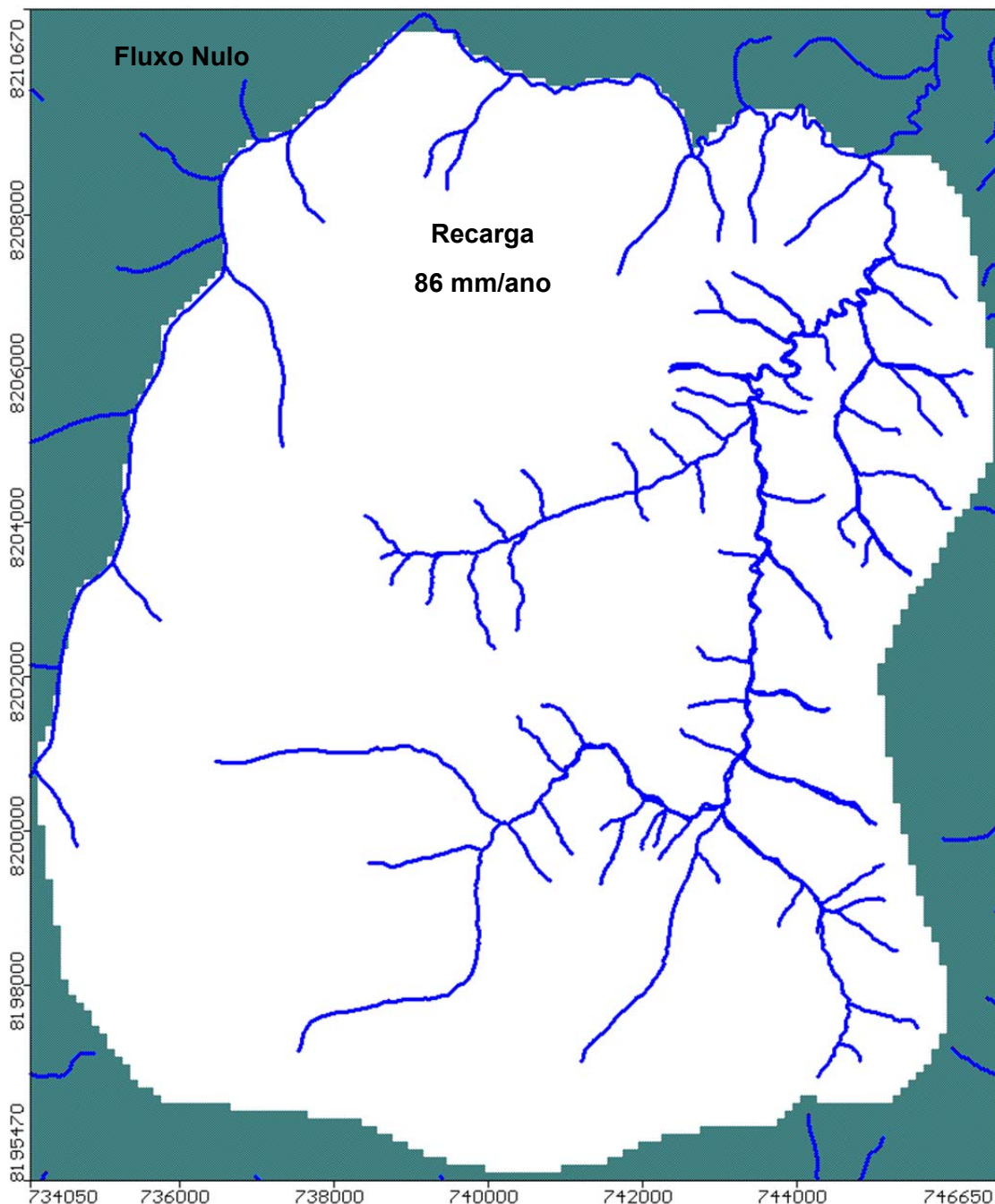


Figura 5.1.3 – Limite do modelo, fluxo nulo (verde); distribuição uniforme da recarga (branco)

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
49/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2



Figura 5.1.4 - Distribuição espacial das condições de contorno de "Carga Constante" e de "Drenos".

5.2 CALIBRAÇÃO

A calibração do modelo numérico foi realizada em regime permanente, buscando ajustar as condutividades hidráulicas e a condutância dos drenos a partir dos registros de monitoramento de

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 50/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

nível de água e de vazões. Foram utilizados os dados de monitoramento de 2016, uma vez que se assume que o sistema hídrico está em equilíbrio hidrodinâmico. Ademais, foram utilizadas as cotas cadastradas das nascentes perenes no período de seca.

Os procedimentos de calibração foram efetuados manualmente, alterado repetidamente os valores dos parâmetros de condutividades hidráulica e recarga, até que os valores de cargas hidráulicas observados nos poços e nas nascentes fossem o mais próximo possível dos valores calculados pelo modelo. Desta forma, a calibração do modelo foi realizada por meio de retroanálise.

A distribuição final da condutividade hidráulica obtidas para cada zona definida está apresentada na Tabela 5.2.1. Cabe, aqui, observar, que os valores de recarga e de condutância atribuídos no modelo, e apresentados nos subitens anteriores, já constituem o resultado desta etapa de calibração.

Tabela 5.2.1: Zonas de condutividade hidráulica representadas no modelo numérico.

Propriedade	Unidade Hidroestratigráfica	Condutividade Hidráulica (m/s)
	Solo Residual e Canga	$K_x = K_y = K_z = 4 \times 10^{-6}$
	Diamictito Alterado	$K_x = K_y = K_z = 7 \times 10^{-8}$
	Diamictito São	$K_x = K_y = K_z = 1 \times 10^{-8}$
	Diamictito Hematítico Friável	$K_x = K_y = K_z = 3 \times 10^{-7}$
	Diamictito Hematítico Semi-Compacto	$K_x = K_y = K_z = 1 \times 10^{-7}$
	Diamictito Hematítico Compacto	$K_x = K_y = K_z = 9 \times 10^{-8}$

Na Tabela 5.2.2 estão apresentados os piezômetros e nascentes, com as respectivas localizações, posições do filtro e com níveis d'água observados e calculados.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 51/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Tabela 5.2.2: Pontos de monitoramento do nível d'água utilizados na calibração do modelo.

Ponto	X	Y	Obs.	Calc.	Calc.-Obs.	
Piezômetros	FSF-FS-012	742.301	8.202.459	834,50	845,50	10,90
	FSF-FS-024	741.252	8.203.220	837,00	844,20	7,20
	FSF-FS-057	741.205	8.202.400	867,20	866,40	-0,80
	FSF-FS-065	742.008	8.203.198	845,80	846,60	0,80
	FSF-FS-073	742.404	8.201.400	820,10	816,40	-3,70
	FSF-FS-168	742.970	8.203.572	789,50	773,00	-16,50
	FSF-FS-228	742.390	8.204.206	789,10	778,00	-11,20
	FSF-FS-231	742.167	8.204.801	770,10	783,10	13,00
	FSF-FS-235	741.407	8.201.403	822,80	814,40	-8,40
	FSF-FS-240	743.592	8.203.199	705,90	711,30	5,30
	FSF-FS-242	743.218	8.200.056	760,00	757,80	-2,20
	FSF-FS-258	743.597	8.202.400	727,80	738,20	10,50
	FSF-FS-263	743.438	8.201.272	727,90	735,30	7,30
	FSF-FS-270	742.821	8.205.017	744,30	733,00	-11,30
	FSF-FS-280	741.401	8.204.195	795,40	794,00	-1,30
	FSF-FS-285	741.175	8.204.619	811,00	822,60	11,70
Nascentes	BL8-101	740.742	8.203.270	829,70	819,00	-10,70
	BL8-103	740.423	8.204.133	806,90	807,60	0,70
	BL8-110	738.853	8.203.427	833,90	835,70	1,90
	BL8-112	739.250	8.203.309	830,90	826,10	-4,80
	BL8-113	738.595	8.203.895	852,50	850,00	-2,50
	BL8-114	744.198	8.198.375	821,80	819,60	-2,20
	BL8-123	743.635	8.199.099	797,90	794,80	-3,10
	BL8-124	743.630	8.199.105	794,10	794,60	0,50
	BL8-15	741.630	8.201.161	795,10	783,50	-11,60
	BL8-17	741.153	8.201.260	780,10	784,70	4,60
	BL8-18	741.530	8.201.125	768,10	771,80	3,60
	BL8-19	740.559	8.200.396	794,70	787,20	-7,50
	BL8-20	740.694	8.200.458	780,80	782,10	1,20
	BL8-21	739.216	8.201.096	826,30	825,80	-0,50
	BL8-22	739.064	8.201.310	853,00	852,60	-0,40
	BL8-25	736.493	8.200.885	910,70	903,70	-7,00
	BL8-27	738.557	8.199.486	879,80	877,20	-2,60
	BL8-28	737.515	8.197.327	908,60	905,80	-2,80
	BL8-40	744.325	8.202.901	755,80	759,70	4,00
	BL8-41	744.438	8.202.704	795,00	786,90	-8,10
	BL8-42	744.358	8.202.620	798,80	788,10	-10,70
	BL8-60	744.842	8.200.418	816,00	809,80	-6,20
	BL8-62	744.880	8.200.201	813,00	816,80	3,80
	BL8-67	744.380	8.199.453	822,50	811,20	-11,30
BL8-70	744.482	8.198.375	801,40	800,80	-0,50	
BL8-77	745.324	8.197.391	877,60	881,30	3,80	
BL8-78	745.560	8.197.453	884,30	888,80	4,50	
BL8-79	745.257	8.197.668	864,00	855,90	-8,20	
BL8-80	744.914	8.196.986	883,70	878,80	-4,90	

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 52/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Ponto	X	Y	Obs.	Calc.	Calc.-Obs.
BL8-81	744.850	8.196.926	876,30	879,50	3,30
BL8-83	744.249	8.196.776	881,80	883,40	1,70
BL8-84	744.391	8.197.478	854,70	851,70	-3,00
BL8-88	744.108	8.197.757	860,30	856,90	-3,40
BL8-97	741.998	8.204.136	792,00	793,90	1,90
BL8-98	741.983	8.204.141	787,70	793,80	6,00

A Figura 5.2.1 mostra o gráfico obtido entre cargas hidráulicas calculadas e medidas, sobrepostas à reta de 45° de inclinação (ajuste perfeito) e o respectivo intervalo de confiança, para os 51 pontos de monitoramento disponíveis. O gráfico no canto superior esquerdo, apresenta a correlação dos piezômetros, já no gráfico do canto inferior esquerdo, observa-se a correlação das nascentes. A correlação entre todos os valores observados e calculados foi de 99%, enquanto os desvios absolutos variaram entre -0,3 m e 16,5 m.

O alvo da calibração foi definido como obtenção de um erro RMS (Root Mean Square ou Erro Quadrático Médio) normalizado inferior a 10% (Anderson e Woessner, 1992). Este valor é obtido ao se dividir o RMS pela diferença entre as cargas hidráulicas máxima e mínima registradas nos pontos de observação, neste caso, 705,9 m (FSF-FS-240) e 910,7 m (BL8-25), e o valor RMS da seguinte forma:

$$\text{RMS Normalizado} = \text{RMS}/204,8 \text{ m} = 6,7 \text{ m}/204,8 \text{ m} = 3,3\%$$

Como se pode verificar, a calibração atingiu um valor de RMS normalizado de 3,3%, sendo considerada muito satisfatória. Um resumo do erro da calibração do modelo está apresentado na Tabela 5.2.3.

Tabela 5.2.3: Resumo do erro de calibração piezométrica do modelo numérico de fluxo.

Erro de Calibração	Valor
Média Residual	-1,1 m
Média Residual Absoluta	5,4 m
RMS (Erro Médio Quadrático)	6,7 m
RMS Normalizado	3,3 %

Na Figura 5.2.2 a seguir, apresenta a superfície equipotencial calculada na atual calibração. Observa-se um gradiente de nível d'água em direção aos principais talwegues de drenagens, conforme avaliado no modelo conceitual. A variação do nível d'água é de aproximadamente 250 m, sendo a cota do nível d'água na porção sudoeste de aproximadamente 950 m.a.n.m e a nordeste, no exutório das sub-bacias, 700 m.a.n.m.

Juntamente com os níveis d'água se analisou as vazões de descarga nas drenagens e o balanço hídrico do modelo. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.2.4. O balanço de massa do modelo apresenta-se consistente, com um erro residual inferior 0,03%.

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 HIDROGEOLOGIA
 MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
 CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
53/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
 2

Tabela 5.2.4: Balanço hídrico da calibração do modelo numérico em regime permanente.

Balanço	Condição de Contorno	Localização	Vazão (L/s)
Entrada	Recarga	Geral	388,1
Saída	Drenos	Córrego Lamarão	273,6*
		Córrego Mundo Novo	114,7*
Entrada - Saída			-0,1

*Nota: Vazões de base (contribuição apenas por água subterrânea).

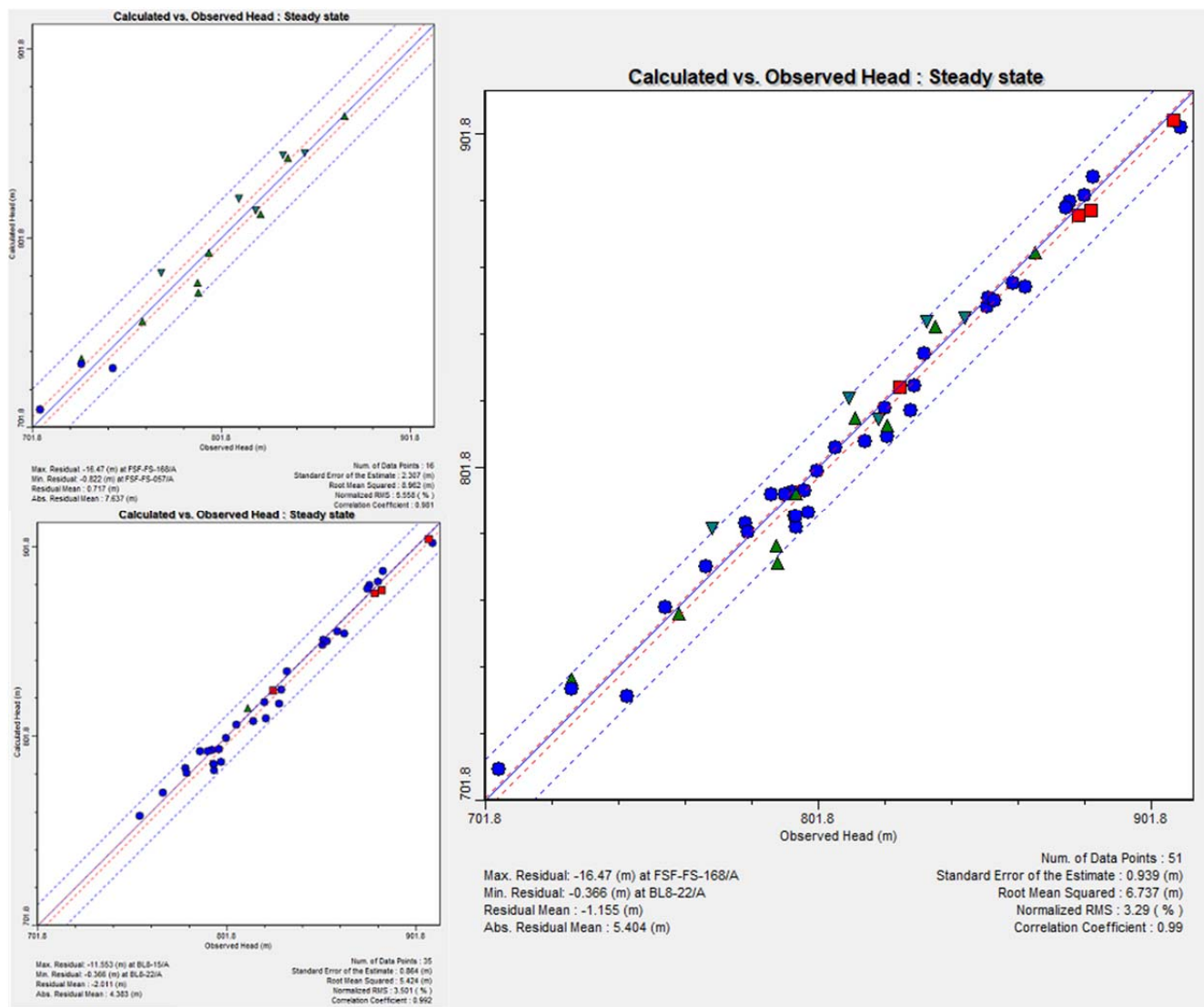


Figura 5.2.1 - Gráfico de calibração das cargas hidráulicas.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
54/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

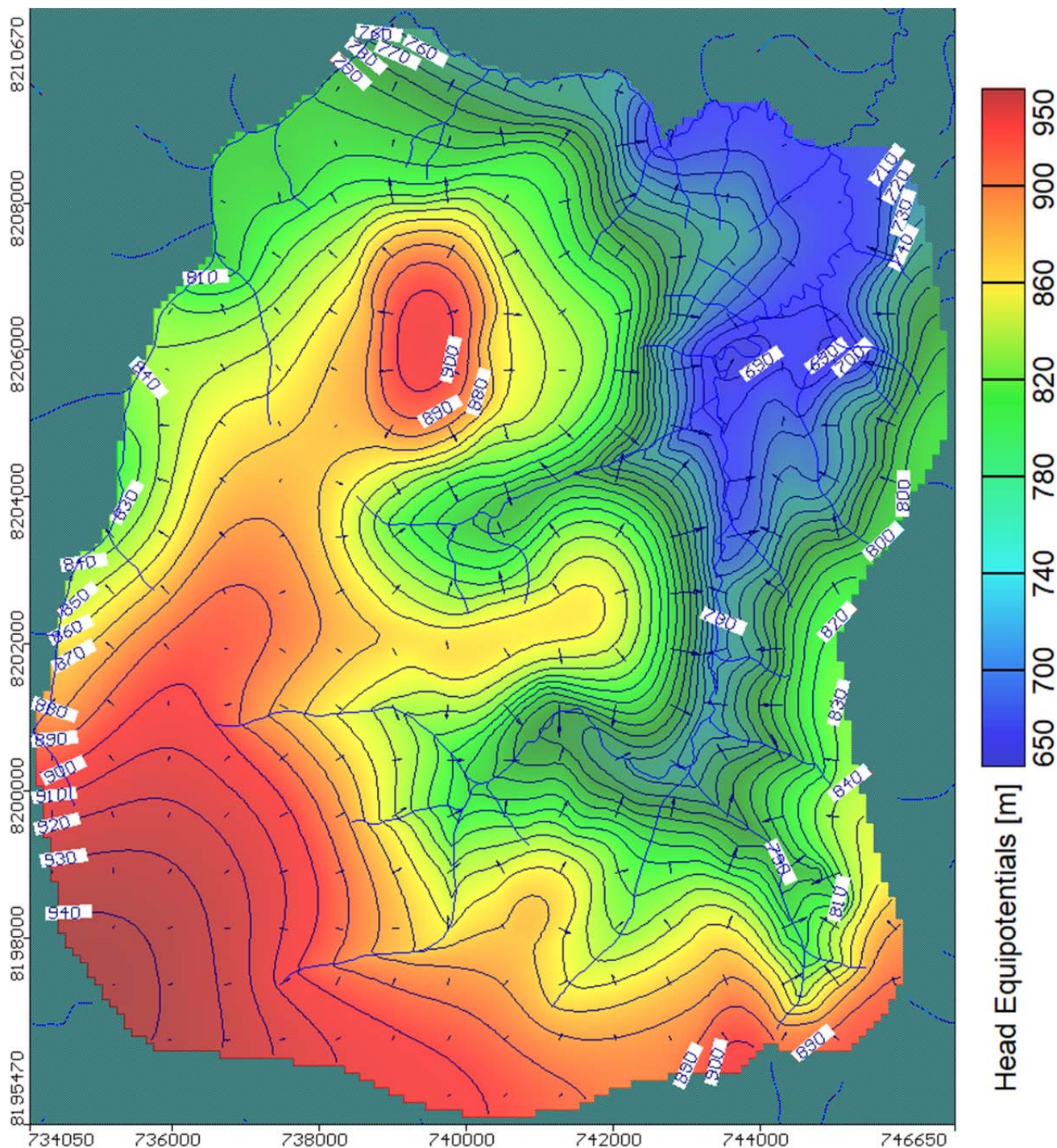


Figura 5.2.2 - Superfície equipotenciométrica do nível de água modelado –curvas 10 x 10 m (camada 5).

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
55/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

5.3 SIMULAÇÕES DE MÁXIMO REBAIXAMENTO

Uma vez calibrado, o modelo computacional apresenta as condições adequadas para a representação do comportamento hidrogeológico local, está apto para a realização de simulações, de acordo com as necessidades do projeto, e com condições de fornecer resultados próximos da realidade.

Desta forma, foi realizada a simulação, em regime permanente, do plano de lavra final da cava, bem como a condição final das estruturas de represamento de rejeitos (lamas) no entorno. A topografia do modelo foi adequada, conforme a alteração da morfologia pela cava e barragens. A Figura 5.3.1 apresenta uma seção vertical, de um corte transversal cruzando a barragem 02 e o *pit* da cava.

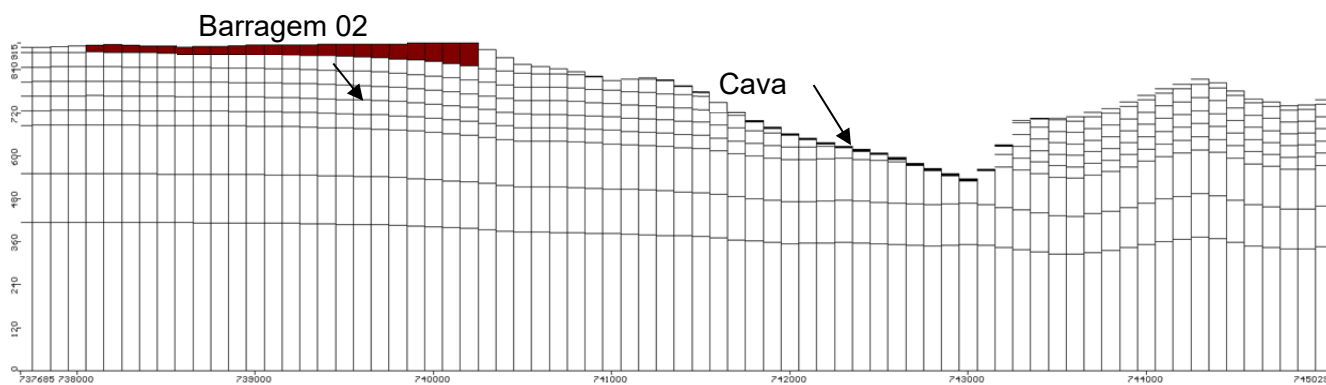


Figura 5.3.1 Seção vertical passando pela Barragem 02 e pelo *pit* da cava (linha 63).

Optou-se por apresentar os resultados em dois cenários distintos, individualizando a retirada de água do aquífero abastecido exclusivamente por recarga natural (cenário 1) e o rebaixamento incluindo as águas infiltradas pelas barragens e *backfill* (cenário 2).

Cenário 1

A simulação deste cenário foi executada em regime estacionário, sendo consideradas as condições finais de lavra do Bloco 8, sem a presença das barragens 01 e 02, do *backfill* e dos reservatórios de água. O objetivo desta simulação consistiu em apontar o quantitativo de vazão necessária, proveniente exclusivamente do aquífero (recarga natural), para que o desaguamento ocorra, bem como, os impactos associados.

Para tanto, foram utilizados drenos nas cotas dos taludes do plano de lavra final (18 anos) disponibilizado pela SAM.

De acordo com a simulação deste cenário, a expectativa de bombeamento necessária para o desaguamento é da ordem de 51 L/s (183 m³/h).

A Figura 5.3.2 a seguir, apresenta a superfície equipotenciométrica do nível de água modelado para a condição de máximo rebaixamento no Cenário 1, em planta, bem como em uma seção vertical transversal ao *pit* da cava.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
56/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

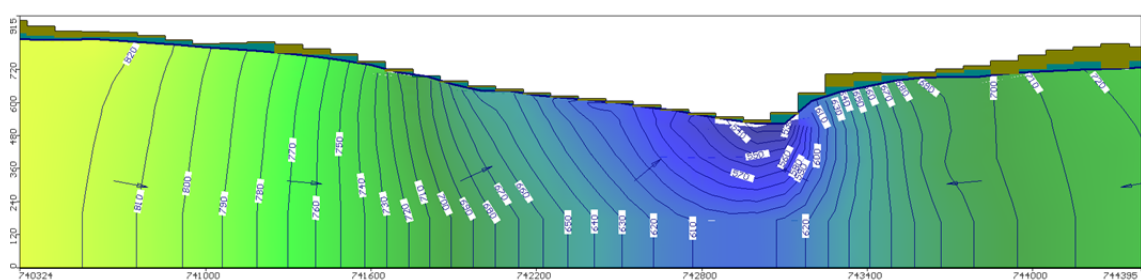
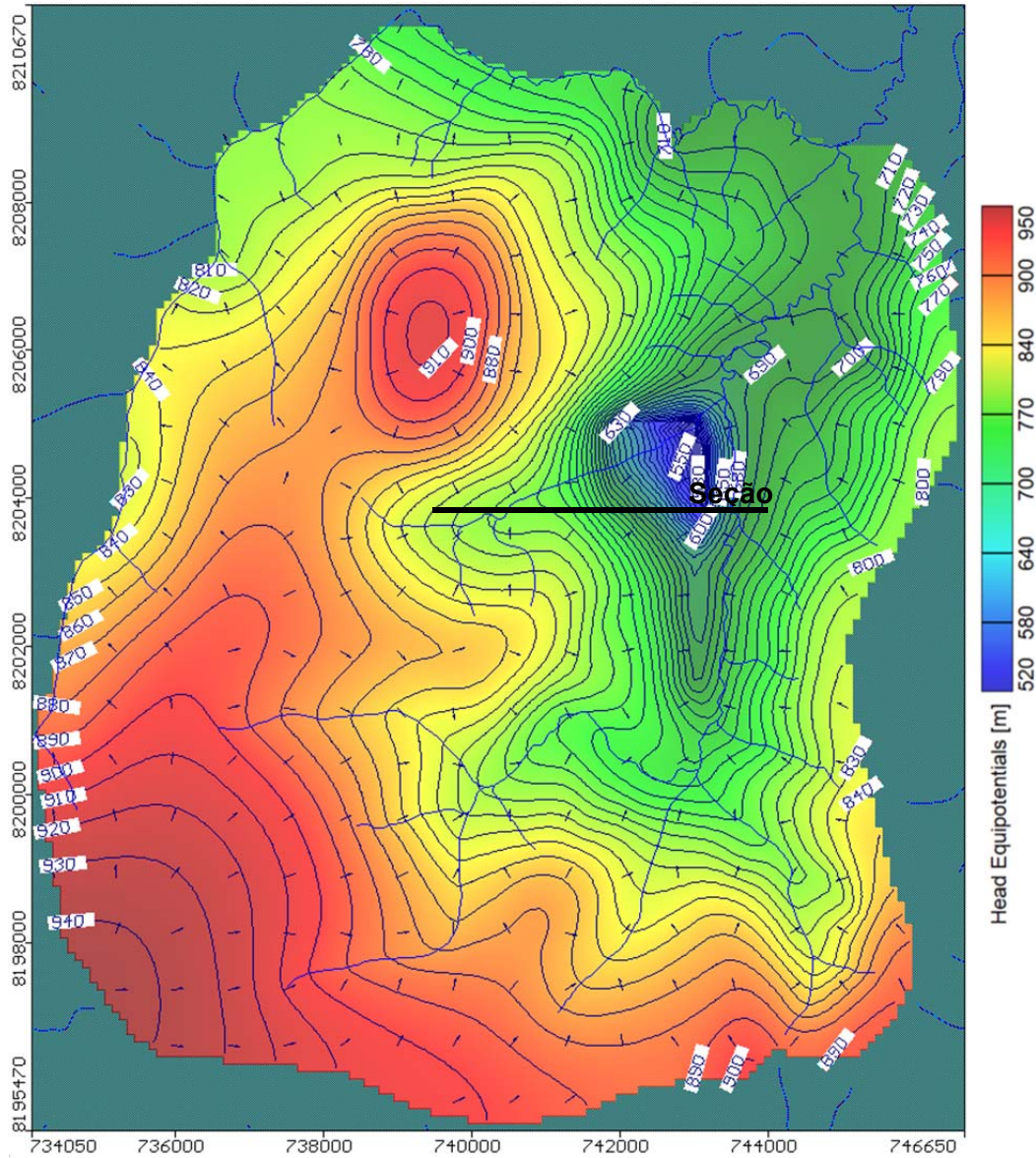


Figura 5.3.2 - Superfície equipotenciométrica do nível de água modelado para a condição de máximo rebaixamento no Cenário 1

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 57/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Cenário 2

A simulação deste cenário também foi executada em regime estacionário, sendo consideradas as condições finais de lavra da mina 8, e a inclusão das barragens 01 e 02 e do *backfill*.

O *software* Visual Modflow apresenta uma limitação em relação a condição de contorno de primeiro tipo com restrição fluxo, não sendo possível controlar apenas entradas de água no modelo a partir de uma carga hidráulica conhecida. Para representar as barragens 01 e 02, assim como os reservatórios de água, que se encontram em cotas superiores as cotas do aquífero, as condições de contorno atendem sem necessitar da restrição. No entanto, a ausência de restrição de fluxo dificulta a representação do *backfill*, que está localizado dentro da cava.

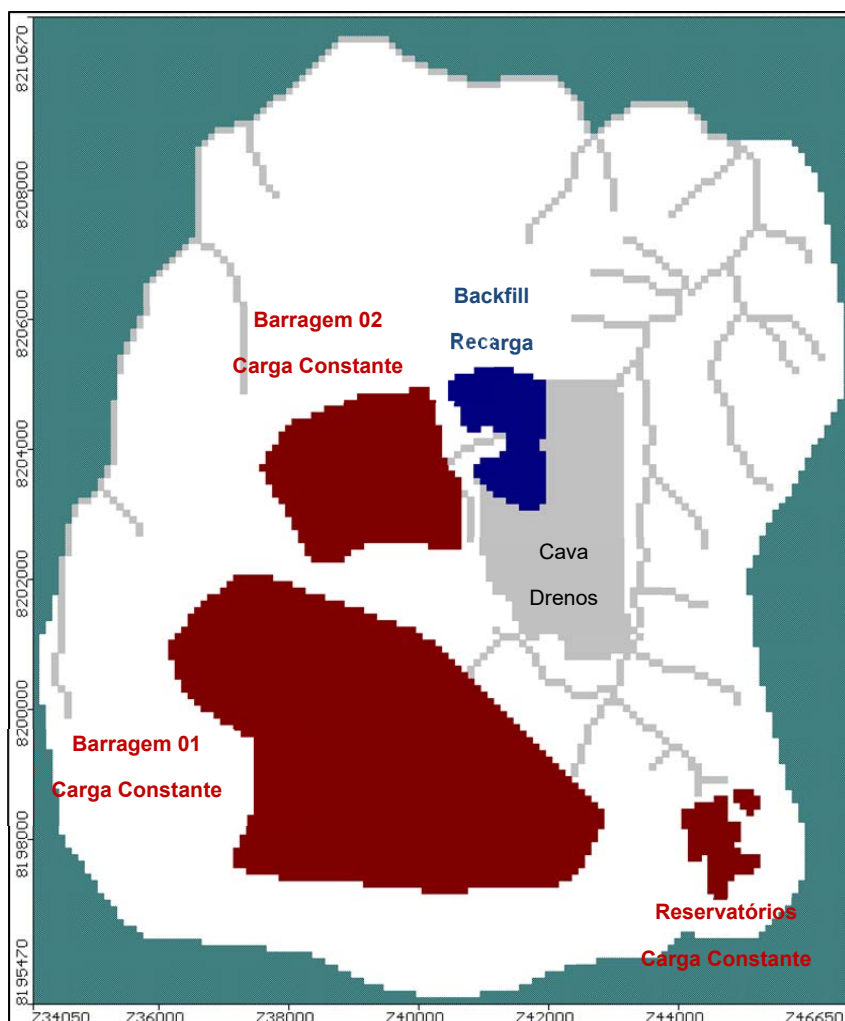


Figura 5.3.3 – Distribuição das condições de contorno para a simulação de máximo rebaixamento, incluindo as demais estruturas de represamento.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 58/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Desta forma, optou-se por estimar conceitualmente um volume máximo de infiltração destes rejeitos e representar a infiltração do *backfill* por meio do aumento local da recarga. E as barragens 01 e 02, assim como os reservatórios, foram representadas no modelo por meio da condição de contorno Carga Constante (Figura 5.3.3). As estimativas de infiltração e aplicação das condições de contorno para cada estrutura estão detalhadas em seguida.

BACKFILL

O reservatório para disposição de rejeitos na cava possui um volume total de aproximadamente 20 Mm³. Assume-se que o volume do rejeito apresenta 40% de sólidos e 60% de água (Aristimunho e Bertocini, 2012). Desta forma, 12 Mm³ de água serão dispostos na cava. No entanto, foi calculada no Plano de Manejo Hídrico Integrado (WALM, 2014) uma recuperação de 44% da água presente no rejeito, que será direcionada para fora da cava. Portanto, 56% do volume de água estará disponível para infiltração, retenção e evaporação.

Por experiência, em estudos anteriores, estima-se que a infiltração estará entre 10 a 25% do valor total disponível. Desta forma, considerou-se, de forma conservadora, que aproximadamente 20% do volume de água provenientes dos rejeitos infiltrará neste período, ou seja, 2,6 Mm³ infiltrando em uma área de 1,8 km² e em 2 anos, obtém-se um acréscimo local de 734 mm/ano.

BARRAGEM 01, BARRAGEM 02 E RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

Para representar as estruturas de represamento, foi utilizada a condição de contorno carga constante, sendo estabelecida a carga hidráulica na cota máxima de cada estrutura:

- Barragem 01: 935 m
- Barragem 02: 915 m
- Reservatórios de água: 858 m

Além disso, também foi alterada a propriedade de condutividade hidráulica na zona de depósito de rejeito, sendo agregada uma nova propriedade hidroestratigráficas no modelo (Figura 5.3.4).

Existe uma grande incerteza no valor de condutividade hidráulica dos rejeitos, em geral, estas condutividades apresentam-se muito baixas, por se tratar de um material muito fino, argiloso. No entanto, essas condutividades podem variar em três ou mais ordens de grandezas. De forma conservadora, para garantir o rebaixamento da cava, foi adotado um valor de 1e-8 m/s, considerado baixo, mas não impermeável.

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 HIDROGEOLOGIA
 MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
 CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
59/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

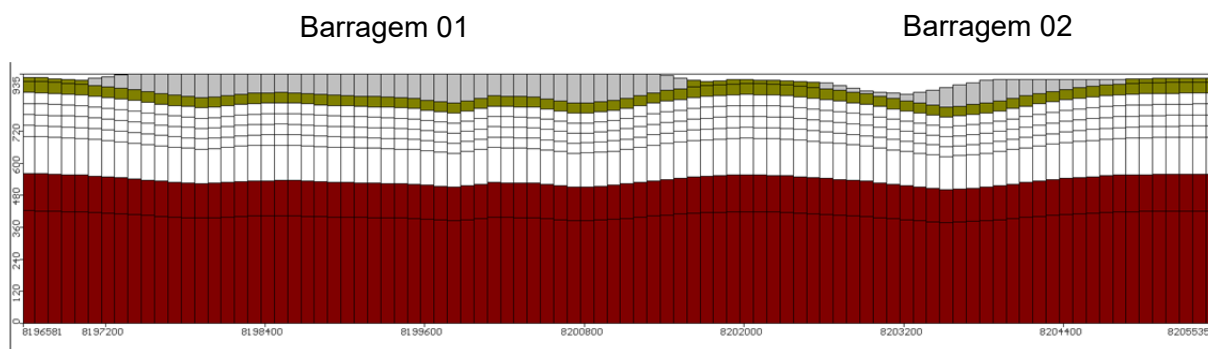


Figura 5.3.4 – Seção vertical transversal as barragens de rejeitos 01 e 02, unidades hidroestratigráficas de rejeitos (cinza).

De acordo com a simulação deste cenário, a expectativa de bombeamento necessária para o desaguamento é da ordem de 60 L/s (241 m³/h), considerando apenas os reservatórios e barragens de rejeitos. E da ordem de 102 L/s (367 m³/h), quando estabelecido o arranjo final do backfill.

Ressalta-se que o backfill só será depositado nos dois últimos anos de operação da Mina. E que foi considerado, de forma conservadora, que aproximadamente 20% do volume de água provenientes dos rejeitos infiltrará neste período.

A Figura 5.3.2 a seguir, apresenta a superfície equipotenciométrica do nível de água modelado para a condição de máximo rebaixamento no Cenário 1, em planta, bem como em uma seção vertical transversal ao *pit* da cava.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
60/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

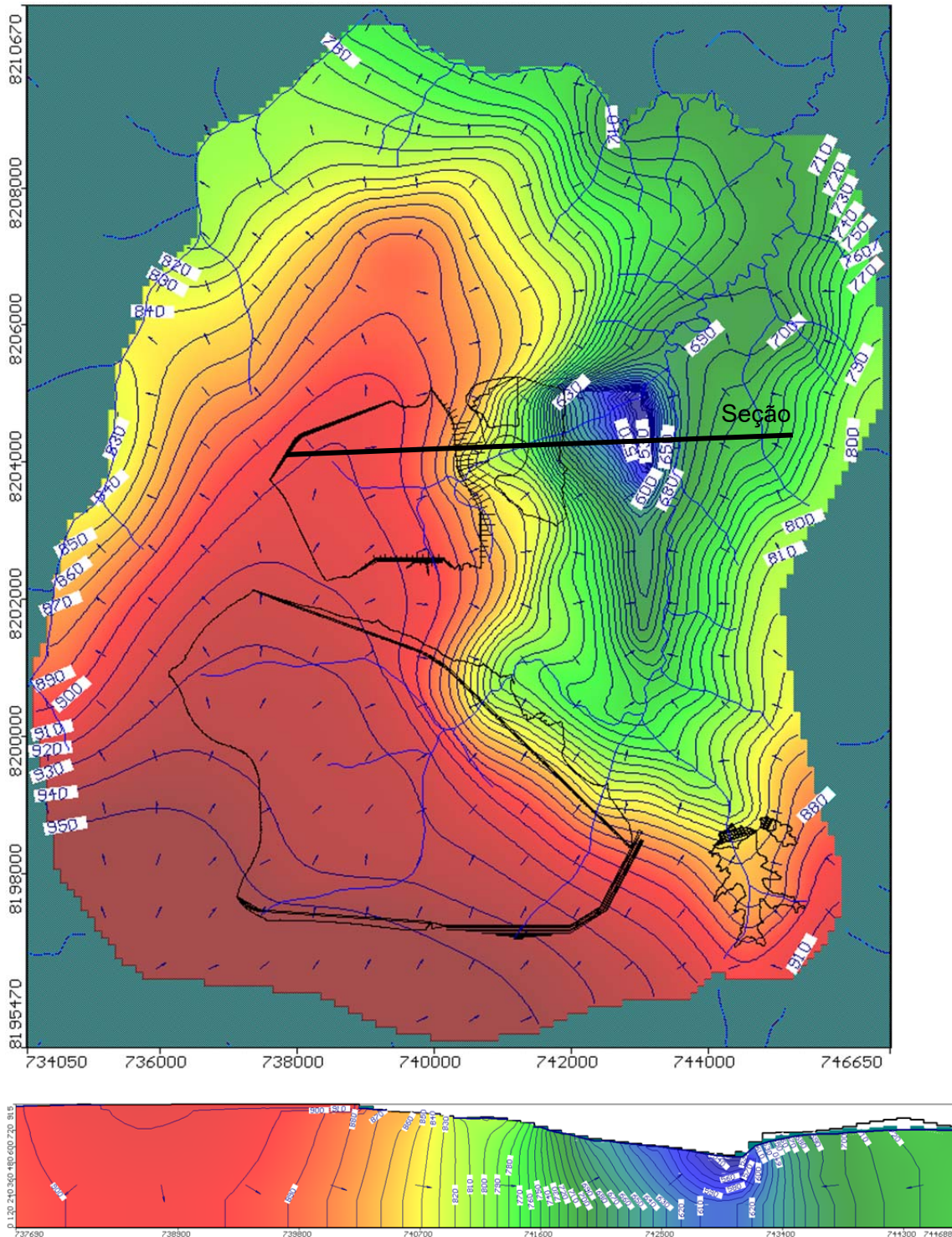


Figura 5.3.5 - Superfície equipotenciométrica do nível de água modelado para a condição de máximo rebaixamento no Cenário 2

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 61/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

5.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

A avaliação de impacto, buscou comparar as condições de fluxo estabelecidas durante a calibração do modelo, situação antes do empreendimento, com as alterações provocadas mediante o máximo rebaixamento e implantação das estruturas de represamento (simulação cenário 2).

Nota-se que entre as 48 nascentes perenes cadastradas na área 30 delas estão localizadas sob a área de influência direta das estruturas (Figura 5.1.1), sendo:

- 7 na área da Cava;
- 5 na área da Barragem 02;
- 7 na área da Barragem 01;
- 11 nos Reservatórios de Água.

As demais nascentes, localizadas a margem direta do córrego Lamarão, de acordo com o modelo, não serão afetadas pelo rebaixamento.

Para elucidar as alterações no sistema hídrico, as curvas equipotenciais da calibração foram subtraídas das curvas equipotenciais da simulação (cenário 2) e estão apresentados na Figura 5.1.2. Observa-se nas curvas em tons vermelhos a extensão do cone de rebaixamento. As curvas estão espaçadas de 5 e 5 metros, sendo o maior rebaixamento da ordem de 215 metros na região do pit. Ademais, nota-se que apesar do cone de rebaixamento interferir no canal principal do córrego Lamarão, no trecho próximo a cava, o cone não atinge as nascentes da margem direita. O mapa apresentado na Figura 5.1.2 segue disposto no Anexo 2 do presente relatório em formato A1 para melhor visualização em planta do cone de rebaixamento.

Observa-se também na Figura 5.1.2 a influência das estruturas de represamento da água, as quais produzem uma recarga artificial local alterando as cargas hidráulicas positivamente. Esta recarga limita a extensão do cone de rebaixamento a sul da área, garante o fluxo nas nascentes da margem direita do córrego Lamarão, além de aumentar o fluxo nas nascentes da margem direita do córrego Mundo Novo.

A análise das vazões de descarga nas drenagens revelou uma redução de 19% da vazão de base na sub-bacia do córrego Lamarão e um acréscimo na vazão de base do córrego Mundo Novo. Conforme mencionado anteriormente, os valores obtidos têm influência direta tanto do rebaixamento quanto da presença das barragens, que são estruturas capazes de aumentar a recarga local. O acréscimo observado na vazão de base do córrego Mundo Novo é provado pela presença das barragens de rejeitos, as quais induzem uma alteração nos divisores de água entre as duas sub-bacias modeladas. A infiltração destas barragens contribuí nos fluxos de base tanto do córrego Mundo Novo, quanto no do córrego Lamarão. De modo geral, observa-se uma redução nos fluxos de base da ordem de 5%, o que equivale a aproximadamente 21 L/s. Essa vazão é inferior a vazão do rebaixamento, podendo ser um impacto gerenciado e mitigado ao longo da operação. A Tabela 5.1.1 a seguir apresenta a comparação das vazões de base obtidas durante o processo de calibração e de simulação do máximo rebaixamento.

Tabela 5.1.1: Alteração nas vazões de base das sub-bacias dos córregos Lamarão e Mundo Novo.

Localização	Vazão de calibração	Vazão simulada (L/s)	Varição
Córrego Lamarão	273,6	221,6	- 19%
Córrego Mundo Novo	114,7	145,5	+27%

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
62/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

Total	388,2	367,1	- 5%
--------------	--------------	--------------	-------------

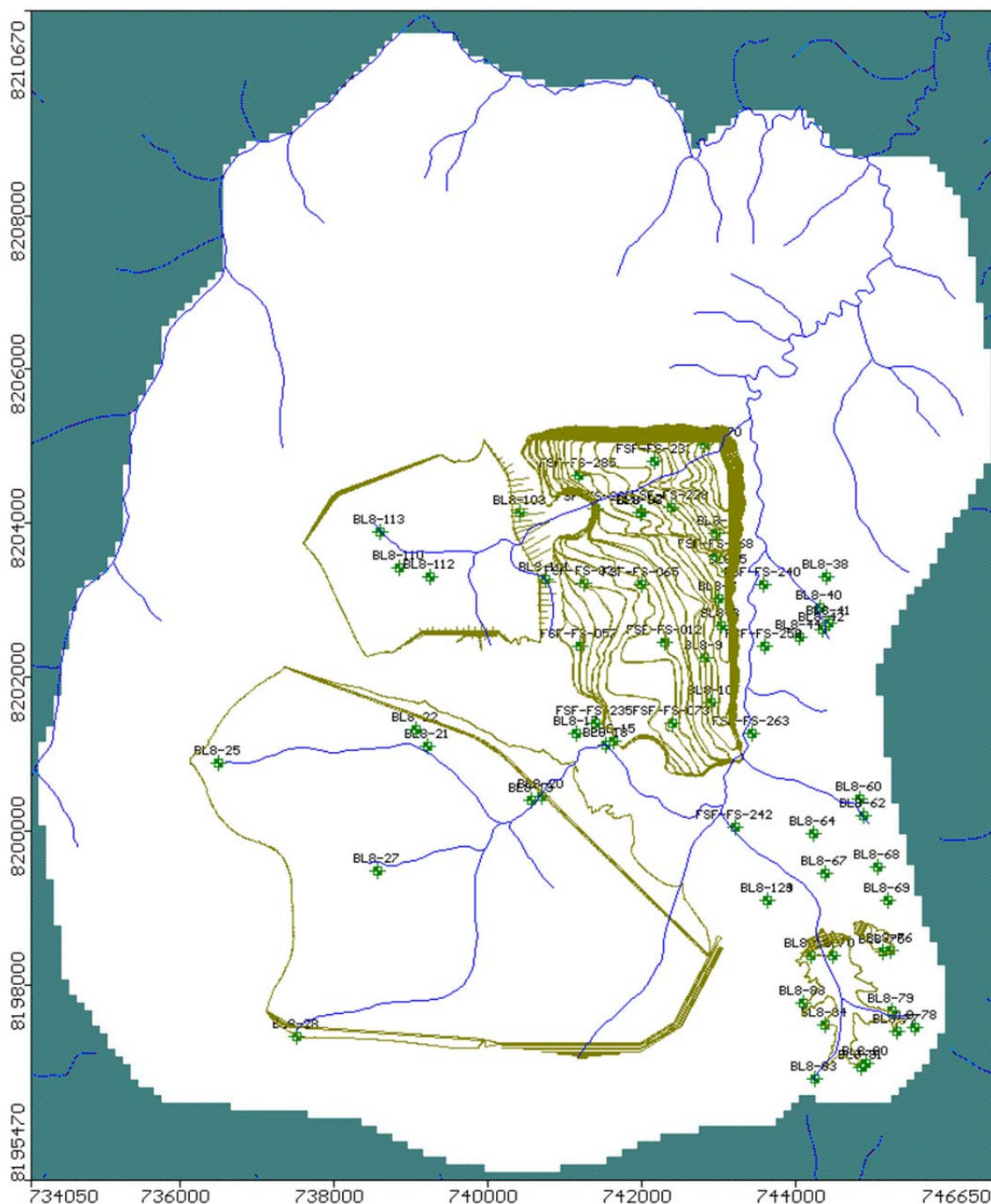


Figura 5.1.1 – Localização das nascentes cadastradas sob as futuras estruturas.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
HIDROGEOLOGIA
MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO
CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-05

Folha
63/71

WBH28-17-SAM-RTE-0005

Revisão
2

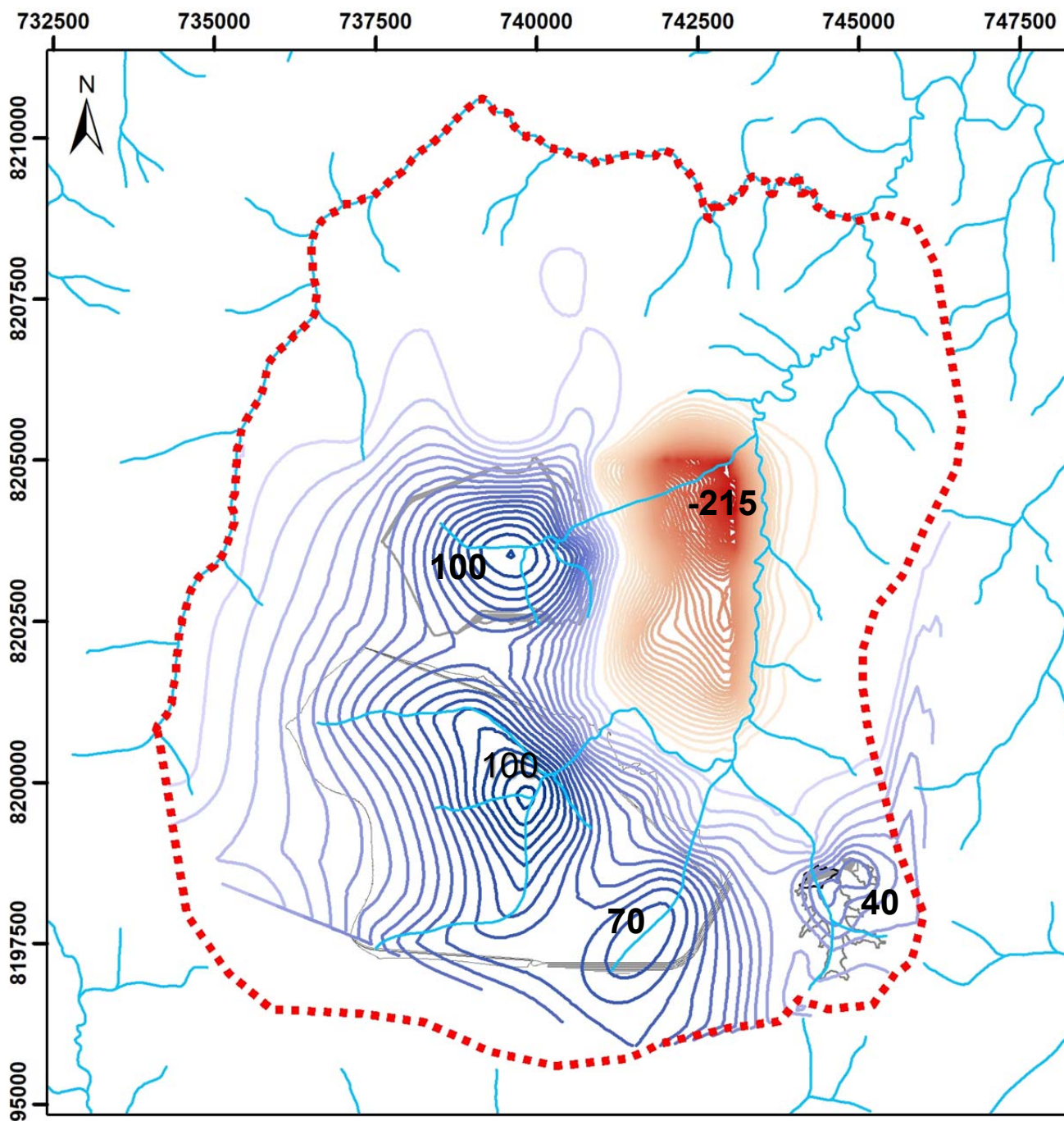


Figura 5.1.2 – Variação de carga hidráulica para as condições de simulação do cenário 2. Curvas espaçadas de 5 e 5 m. Vermelhas negativas. Azuis positivas

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 64/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Após cessar o sistema de bombeamento para rebaixamento, ocorrerá o aporte de água subterrânea em direção a cava, iniciando o processo de enchimento do lago da cava. O enchimento ocorrerá a longo prazo, até atingir novamente a carga hidráulica de equilíbrio do aquífero, próximo a cota 700 m.a.n.m.. Esse processo pode levar dezenas de anos, uma vez que ocorrerá também uma grande perda da água armazenada na cava para evaporação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho consistiu inicialmente na revisão do modelo hidrogeológico conceitual do Projeto Bloco 8. Posteriormente, na elaboração e calibração do modelo numérico, bem como na utilização do mesmo como uma ferramenta de análise para a realização de simulações preditivas do rebaixamento do nível d'água, conforme o plano de lavra previsto e estruturas de represamento.

O modelo numérico correspondeu a materialização do modelo conceitual. Desta forma, a ferramenta incorporou uma quantidade significativa de informações existente, incluindo suas análises e interpretação, assim como as unidades hidrogeológicas identificadas como mais importante em termos de fluxo subterrâneo. Posteriormente, com a calibração adequada do modelo numérico, em que níveis de água subterrâneos simulados foram ajustados aos observados, em diferentes unidades do domínio, foi possível medir a representatividade do modelo e validar a sua utilidade como ferramenta analítica

As principais conclusões obtidas são sumarizadas a seguir:

- Foram determinadas 6 unidades hidroestratigráficas, sendo três em ordem descendente de profundidade do metadiamicítico estéril, e outros três com a variação do grau intemperismo do minério, a saber: Solo, diamicítico estéril friável, diamicítico estéril compacto, diamicítico hemático friável, diamicítico hemático semi-compacto e diamicítico hemático compacto;
- A natureza argilosa dos materiais produz uma lenta infiltração, favorecendo o escoamento superficial. Desta forma, a elevada taxa de escoamento superficial combinada com o baixo índice pluviométrico da região e a alta evaporação, faz com que a taxa de recarga seja muito baixa;
- A estimativa de recarga foi estabelecida a partir do valor médio do excedente hídrico acumulado nos meses em que pluviometria supera a evaporação, equivalente ao acumulado de 290 mm/ano. Para tanto, foi suposto uma recarga máxima de 50% do excedente hídrico e uma mínima de 10%, ou seja, a recarga deve estar entre 145 e 30 mm/ano;
- Considerando a natureza de aquíclode (formação sem capacidade de armazenamento e condução de águas subterrâneas) das rochas no entorno da lavra, representado pelos metadiamicíticos compactos, não fraturados, os limites do modelo hidrogeológico, restringiram-se as sub-bacias dos córregos Lamarão e Mundo Novo;
- A calibração em regime permanente do modelo pôde reproduzir, em termo gerais, as direções de fluxo predominante e o nRMS obtido considerando o espectro completo de níveis é de 3,3%.



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 65/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

- O erro do balanço de massa do modelo foi inferior a 1% indicando uma adequada convergência e representatividade;
- Optou-se por apresentar os resultados em dois cenários distintos, individualizando a retirada de água do aquífero abastecido exclusivamente por recarga natural (cenário 1) e o rebaixamento incluindo as águas infiltradas pelas barragens e backfill (cenário 2), possibilitando diferenciar a influência das estruturas de represamento no rebaixamento.
- De acordo com a simulação do Cenário 1, onde não há influência das estruturas de represamento, a expectativa de bombeamento necessária para o desaguamento é da ordem de 51 L/s (183 m³/h), que corresponde aos anos iniciais de lavra.
- De acordo com a simulação do Cenário 2, a expectativa de bombeamento necessária para o desaguamento é da ordem de 60 L/s (241 m³/h), considerando apenas os reservatórios e barragens de rejeitos, que corresponde aos anos de operação da lavra considerando as barragens de rejeito em plena operação. E da ordem de 102 L/s (367 m³/h), quando estabelecido o arranjo final do *backfill*.
- Para o Cenário 2 ressalta-se a importância de se considerar, em uma etapa futura de operação, quando se dispuser de ensaios nos rejeitos, as incertezas provenientes da taxa de infiltração das barragens de rejeitos, diretamente dependentes da condutividade hidráulica dos rejeitos. Além disso, também a incerteza relacionada a estimativa de infiltração do *backfill*.
- As nascentes impactadas serão aquelas que estão na área de influência direta das estruturas, ou seja, sob a área de implantação.
- Por meio da comparação das equipotenciais do estado estacionário e do máximo rebaixamento, obtém-se o maior rebaixamento da ordem de 215 metros na região do *pit*. Ademais, observou-se que apesar do cone de rebaixamento interferir no canal principal do córrego Lamarão, no trecho próximo a cava, o cone não atinge as nascentes da margem direta do mesmo.
- A análise das vazões de descarga nas drenagens revelou uma redução de 19% da vazão de base na sub-bacia do córrego Lamarão e um acréscimo na vazão de base do córrego Mundo Novo. Os valores obtidos têm influência direta tanto do rebaixamento quanto da presença das barragens, que são estruturas capazes de aumentar a recarga local;
- De modo geral, observa-se uma redução nos fluxos de base da ordem de 5%, o que equivale a aproximadamente 21 L/s. Essa vazão é inferior a vazão do rebaixamento, podendo ser um impacto gerenciado e mitigado ao longo da operação;
- A redução do fluxo de base decorrente das atividades minerárias deverá ser compensada por direcionamento de parte da vazão bombeada da cava, em torno de 21 l/s (76 m³/h) para a calha do córrego Lamarão.



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 66/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

Ressalta-se que existem, como em qualquer modelo hidrogeológico, elementos do modelo conceitual que requerem a incorporação de maiores informações e o aprimoramento do nível de certeza dos intervalos de variação dos seus parâmetros. A modelagem numérica fornece apenas uma expectativa dos quantitativos de vazão de desaguamento e de possível reposição em função dos impactos. Os valores efetivos de reposição serão definidos sempre pelo monitoramento contínuo das águas circulantes na região ao longo da vida útil do empreendimento.

A presença de rochas de baixa permeabilidade favorece a utilização de drenos, canaletas e *sumps* para o rebaixamento, no entanto, estudos de métodos de desaguamento da mina deverão ser realizados.

O presente modelo numérico incorporou uma grande quantidade de dados enviadas pela SAM, como topografia natural, topografia de projetos, dados de monitoramentos e informações geológicas na região da cava. No entanto, outras informações foram baseadas em referências bibliográficas e estudos anteriores. A seguir estão listados os principais pontos que implicaram em limitação deste modelo:

- A utilização do método numérico de diferenças finitas não permite o refinamento em locais estratégicos, como, por exemplo, na região dos córregos, dificultando associação precisa das cargas hidráulicas;
- Ausência de monitoramento das vazões nos principais cursos d'água;

Posto isto, recomenda-se que se dê continuidade ao monitoramento que vem sendo realizado, que também sejam realizados testes hidráulicos específicos e periódicas atualizações do modelo durante a operação do empreendimento.



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 67/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

7. REFERENCIAS

ARISTIMUNHO, P. B.; BERTOCINI S. R.. Application iron ore mud in powder form in portland cement presence. Revista IBRACON de Estruturas e Materias. Volume 5, n.2. São Paulo: Abr 2012.

BRANDT Meio Ambiente. Estudo de Impactos Ambientais (EIA). Módulo 6 – Diagnóstico do Meio Físico – Complexo Minerário e Adutora – Volume I. Elaborado para Sul Americana de Metais S/A – SAM em Junho de 2012.

GOLDER Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. Projeto Vale do Rio Pardo – Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos. Elaborado para Sul Americana de Metais S/A – SAM em Dezembro de 2011.

JOURNEL, A.G. The Place of Non-parametric geostatistics. In: G. Verlyetal. (Ed.). Geostatistics for Natural Resources Characterization, Part I. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, 307-335, 1984.

MOURÃO, M. A. A. & PEDROSA-SOARES, A. C. Evidências de sedimentação turbidítica no Grupo Macaúbas, Faixa Araçuaí. Revista Escola de Minas de Ouro Preto, 45, 94-96, 1992. PEDROSA-SOARES, A.C., NOCE, C.M., VIDAL, PH., MONTEIRO, R.L.B.P., LEONARDOS, O.H. Towards a new tectonicmodel for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil)-West Congolian (SW African) Belt. Journalof South American Earth Sciences, 6(1/2): 33-47, 1992.

PEDROSA-SOARES, A.C. Potencial aurífero do Vale do Araçuaí, Minas Gerais: história da exploração, geologia e controle tectono-metamórfico. Brasília, IG-UnB, Tese de Doutorado, 1995.

PEDROSA-SOARES, A.C. Geologia da Folha Jenipapo. In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa-Soares & B.S. Soares-Filho (eds), Projeto Espinhaço em CD-ROM. Belo Horizonte, CODEMIG, p. 1053-1198, 1997.

PEDROSA-SOARES, A.C. & GROSSI-SAD, J.H. Geologia da Folha Minas Novas. In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa- Soares & B.S. Soares-Filho (eds), Projeto Espinhaço em CDRM. Belo Horizonte, CODEMIG, p. 952-1052, 1997

PEDROSA-SOARES, A.C. & NOCE, C.M. Where is the suture zone of the NeoproterozoicAraçuaí-West-Congo orogen? In: Conference on Basement Tectonics, 14, OuroPreto. UFOP, Extended Abstracts, p. 35-37, 1998.

PEDROSA-SOARES, A.C., VIDAL, P., LEONARDOS, O.H. & BRITO-NEVES, B.B. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: Further evidence and refutation of an exclusively ensialic evolution for the Araçuaí-West Congo orogen. Geology, 26: 519-522, 1998.

PEDROSA-SOARES, A.C. & WIEDEMANN-LEONARDOS, C.M. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. In: U. Cordani, E. Milani, A. Thomaz-Filho & D. A. Campos (eds), Tectonic Evolution of South America. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 265-285, 2000.

PEDROSA-SOARES, A.C., NOCE, C.M., WIEDEMANN, C.M. & PINTO, C.P. The Araçuaí–WestCongoorogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. PrecambrianResearch, 110: 307-323, 2001.



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 68/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

PEDROSA-SOARES, A.C., NOCE, C.M., ALKMIM, F.F., SILVA, L.C., BABINSKI, M., CORDANI, U., CASTAÑEDA, Corógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, 15(1): 1-16, 2007.

PEDROSA-SOARES, A.C., ALKMIM, F.F., TACK, L., NOCE, C.M., BABINSKI, M., SILVA, L.C. & MARTINS-NETO, M.A. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. In: Pankhurst, R. J., Trouw, R. A. J., Brito Neves, B. B. & De Wit, M. J. (eds) *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294, 153- 172, 200

REMY, N., BOUCHER, A. WU, J. *Applied Geostatistics with SGeMS*. Cambridge University Press, 264p, 2004.

UHLEIN, A. Transição craton-faixa dobrada: um exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no Estado de Minas Gerais: Aspectos estratigráficos e estruturais. São Paulo, IG-USP, Tese de Doutorado, 1991.

UHLEIN, A., TROMPETTE, R.R. & EGYDIO-SILVA, M. Proterozoic rifting and closure, SE border of the São Francisco Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(2): 191-203, 1998.

UHLEIN, A., TROMPETTE R. & ALVARENGA, C. Neoproterozoic glacial and gravitational sedimentation on a continental rifted margin: The Jequitai-Macaúbas sequence (Minas Gerais, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 435-451, 1999.

UHLEIN, A., TROMPETTE, R.R. & EGYDIO-SILVA, M., VAUCHEZ, A. A Glaciação Sturtiana (~750 Ma), a Estrutura do rifte Macaúbas-Santo Onofre e a Estratigrafia do Grupo Macaúbas, Faixa Araçuaí. *Geonomos*, 15(1): 45-60, 2007.

WALM ENGENHARIA LTDA. Projeto Vale do Rio Pardo – Modelo Hidrogeológico Conceitual. Elaborado para Sul Americana de Metais S/A – SAM em Fevereiro de 2014.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 69/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

ANEXO 1

Tabela 4-1: Dados das Nascentes Cadastradas no Entorno do Complexo Minerário – 1ª Campanha

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 001	742.961,00	8.203.873,00	777,57	1	10,42	2,5	2m	15cm	0,239923225	0,218120344
				2	10,46	2,3			0,219885277	
				3	10,28	2			0,194552529	
BL8 - 002	743.074,00	8.204.306,00	761,76	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 003	743.156,00	8.203.739,00	755,39	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 004	743.103,00	8.203.603,00	773,55	1	10,35	3	1,20m	7cm	0,289855072	0,285002978
				2	10,19	2,9			0,284592738	
				3	9,98	2,8			0,280561122	
BL8 - 005	743.127,00	8.203.366,00	766,33	1	10,25	1	7cm	2m	0,097560976	0,065648829
				2	9,92	0,0008			8,06452E-05	
				3	10,07	1			0,099304866	
BL8 - 006	743.016,00	8.202.954,00	780,62	1	x	x	Área brejosa.			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 007	742.994,00	8.203.023,00	781,62	1	36	1,5	1m	5cm	0,041666667	0,047238728
				2	34,4	1,8			0,052325581	
				3	27,24	1,3			0,047723935	
BL8 - 008	743.038,00	8.202.673,00	777,64	1	50	2,3	3m	60cm	0,046	0,043086338
				2	50,42	2,1			0,041650139	
				3	50,47	2,1			0,041608877	
BL8 - 009	742.826,00	8.202.247,00	796,75	1	15,13	2	60cm	6cm	0,132187707	0,132424449
				2	15,18	2			0,131752306	
				3	15	2			0,133333333	
BL8 - 010	742.904,00	8.201.666,00	788,09	1	20,02	1,5	2m	70cm	0,074925075	0,070221738
				2	20,13	1,5			0,074515648	
				3	19,6	1,2			0,06122449	
BL8 - 011	742.865,00	8.201.114,00	787,81	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 012	742.658,00	8.200.361,00	762,62	1	x	Seca	x			

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 013	742.265,00	8.200.946,00	851,54	1	x	Seca				
				2	x	Seca		x		
				3	x	Seca				
BL8 - 014	742.046,00	8.200.997,00	822,72	1	47,26	3	90cm	10cm	0,063478629	0,068122353
				2	47,53	3,3			0,069429834	
				3	47,58	3,4			0,071458596	
BL8 - 015	741.630,00	8.201.161,00	795,04	1	12,19	2,8	15cm	3cm	0,229696473	0,234406713
				2	12,01	2,8			0,233139051	
				3	12,48	3			0,240384615	
BL8 - 016	741.214,00	8.201.284,00	779,41	1	15,51	1,8	50cm	6cm	0,116054159	0,111844768
				2	15,47	1,6			0,103425986	
				3	15,51	1,8			0,116054159	
BL8 - 017	741.153,00	8.201.260,00	779,99	1	10,33	3,5	1,1m	30cm	0,338818974	0,364406945
				2	10,95	4			0,365296804	
				3	10,28	4			0,389105058	
BL8 - 018	741.530,00	8.201.125,00	767,98	1	3,8	2,7	70cm	10cm	0,710526316	0,721154065
				2	4,61	3,3			0,715835141	
				3	4,07	3			0,737100737	
BL8 - 019	740.559,00	8.200.396,00	794,65	1	11,46	2,6	3m	2cm	0,226876091	0,220910772
				2	11,8	2,6			0,220338983	
				3	11,6	2,5			0,215517241	
BL8 - 020	740.694,00	8.200.458,00	780,67	1	13,2	1	15cm	50cm	0,075757576	0,077096092
				2	13,45	1,1			0,081784387	
				3	13,56	1			0,073746313	
BL8 - 021	739.216,00	8.201.096,00	826,10	1	5,32	3	2m	12cm	0,563909774	0,564271759
				2	5,34	3			0,561797753	
				3	5,29	3			0,56710775	
BL8 - 022	739.064,00	8.201.310,00	853,22	1	3,93	8	2m	30cm	2,03562341	2,061164361
				2	3,99	8			2,005012531	
				3	3,5	7,5			2,142857143	
BL8 - 023	738.425,00	8.201.185,00	851,00	1	10,14	1,6	80cm	13cm	0,157790927	0,152948837
				2	9,94	1,5			0,150905433	
				3	9,99	1,5			0,15015015	
BL8 - 024	738.401,00	8.200.937,00	851,57	1	x	Seca		x		

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos		Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 025	736.493,00	8.200.885,00	910,62	2	x	Seca	80cm	6cm	0,35971223	0,338961619
				3	x	Seca				
				1	5,56	2				
2	5,66	1,75								
3	5,46	1,9								
BL8 - 026	738.442,00	8.199.586,00	881,20	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 027	738.557,00	8.199.486,00	879,55	1	32,22	3	80cm	5cm	0,09310987	0,096406783
				2	30,59	3				
				3	30,6	3				
BL8 - 028	737.515,00	8.197.327,00	908,49	1	1,58	8	40cm	30cm	5,063291139	5,035663572
				2	1,52	7,5				
				3	1,37	7				
BL8 - 029	744.129,00	8.205.012,00	753,38	1	15,92	3	60cm	5cm	0,188442211	0,189639651
				2	15,7	3				
				3	15,84	3				
BL8 - 030	744.082,00	8.204.853,00	785,64	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 031	743.858,00	8.205.328,00	756,53	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 032	744.090,00	8.204.753,00	781,08	1	14,7	2,5	1m	15cm	0,170068027	0,168672955
				2	14,61	2,5				
				3	14,56	2,4				
BL8 - 033	743.651,00	8.204.347,00	700,49	1	17,42	2,8	80cm	12cm	0,160734788	0,16126173
				2	17,4	2,8				
				3	17,27	2,8				
BL8 - 034	743.805,47	8.204.036,50	731,04	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 035	743.931,00	8.203.794,00	727,33	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 036	744.126,00	8.203.530,00	743,00	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 037	744.316,00	8.203.291,00	762,58	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 038	744.409,00	8.203.300,00	779,13	1	7,76	2,3	15cm	5cm	0,296391753	0,304617143
				2	7,42	2,3			0,309973046	
				3	7,48	2,3			0,307486631	
BL8 - 039	744.482,00	8.203.165,00	805,67	1	10,63	3	25cm	7cm	0,282220132	0,282043468
				2	10,63	3			0,282220132	
				3	10,65	3			0,281690141	
BL8 - 040	744.325,00	8.202.901,00	756,00	1	11,5	4,8	17cm	3cm	0,417391304	0,413997642
				2	11,96	4,9			0,409698997	
				3	11,81	4,9			0,414902625	
BL8 - 041	744.438,00	8.202.704,00	795,03	1	10,38	7	60cm	15cm	0,674373796	0,659771625
				2	10,79	7			0,648748842	
				3	10,82	7,1			0,656192237	
BL8 - 042	744.358,00	8.202.620,00	798,78	1	5,98	6,9	0,5cm	25cm	1,153846154	1,1535438
				2	6,09	7,1			1,165845649	
				3	5,96	6,8			1,140939597	
BL8 - 043	743.918,00	8.202.724,00	823,97	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 044	744.057,00	8.202.525,00	779,85	1	18,77	2	1m	2cm	0,10655301	0,10623497
				2	18,75	2			0,106666667	
				3	18,96	2			0,105485232	
BL8 - 045	743.940,00	8.202.497,00	782,98	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 046	743.693,00	8.202.414,00	760,01	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 047	743.881,00	8.202.269,00	767,47	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos		Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 048	744.057,00	8.202.030,00	781,61	3	x	Seca	Área brejosa.			
				1	x	Seca				
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 049	743.794,00	8.201.903,00	772,75	1	6,5	5,5	1m	12cm	0,846153846	0,882626548
				2	6,53	5,9			0,903522205	
				3	6,68	6			0,898203593	
BL8 - 050	744.125,00	8.201.699,00	787,68	1	x	x	Intermitente. Baixa vazão.			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 051	744.373,00	8.201.580,00	818,48	1	47,26	5,13	20cm	5cm	0,108548455	0,111392782
				2	47,53	5,2			0,109404587	
				3	47,58	5,53			0,116225305	
BL8 - 052	744.002,00	8.201.241,00	786,18	1	30,47	0,75	30cm	5cm	0,024614375	0,024086142
				2	30,92	0,75			0,024256145	
				3	29,93	0,7			0,023387905	
BL8 - 053	744.053,00	8.200.943,00	798,40	1	8,06	6,5	50cm	2cm	0,806451613	0,79993788
				2	8,13	6,5			0,799507995	
				3	7,81	6,2			0,793854033	
BL8 - 054	743.895,00	8.200.639,00	750,25	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 055	743.802,00	8.200.604,00	754,33	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 056	744.206,00	8.200.572,00	761,49	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 057	744.209,00	8.200.829,00	771,10	1	4,13	2,5	20cm	3cm	0,605326877	0,599111049
				2	4,64	3			0,646551724	
				3	3,85	2,1			0,545454545	
BL8 - 058	744.244,00	8.200.470,00	764,00	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 059	744.387,93	8.200.445,07	767,13	1	10,21	1,8	30cm	3cm	0,176297747	0,175042849
				2	10,72	1,9			0,177238806	

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 060	744.842,00	8.200.418,00	816,06	3	10,49	1,8	60cm	7cm	0,171591992	0,627204548
				1	4,65	2,9			0,623655914	
				2	4,62	2,9			0,627705628	
				3	4,76	3			0,630252101	
BL8 - 061	744.885,00	8.200.298,00	825,13	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 062	744.880,00	8.200.201,00	813,17	1	2,46	4,1	40cm	7cm	1,666666667	1,592035554
				2	2,77	4,3			1,55234657	
				3	2,89	4,5			1,557093426	
BL8 - 063	743.553,00	8.200.140,00	805,94	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 064	744.242,00	8.199.970,00	827,63	1	24,19	1,9	20cm	12cm	0,078544853	0,08626422
				2	25,19	2,1			0,083366415	
				3	25,01	2			0,079968013	
BL8 - 065	744.228,00	8.199.909,00	803,00	1	11,36	0,9	30cm	1cm	0,079225352	0,081781183
				2	11,05	0,9			0,081447964	
				3	11,22	0,95			0,084670232	
BL8 - 066	744.241,00	8.199.521,00	828,21	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 067	744.380,00	8.199.453,00	822,43	1	11,01	2	1m	40cm	0,181653043	0,18564097
				2	11,69	2,2			0,188195038	
				3	11,76	2,2			0,18707483	
BL8 - 068	745.078,00	8.199.540,00	861,88	1	2,79	3,5	40cm	5cm	1,254480287	1,246625043
				2	2,92	3,5			1,198630137	
				3	2,72	3,5			1,286764706	
BL8 - 069	745.201,00	8.199.105,00	853,49	1	1,45	2,5	25cm	4cm	1,724137931	1,716607472
				2	1,56	2,7			1,730769231	
				3	1,77	3			1,694915254	
BL8 - 070	744.482,00	8.198.375,00	801,67	1	34,29	1,3	30cm	1cm	0,037911928	0,039317546
				2	33,39	1,4			0,041928721	
				3	34,11	1,3			0,038111991	
BL8 - 071	745.023,00	8.197.945,00	850,72	1	4,37	2,2	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão	0,503432494	0,512160512	
				2	4,6	2,3		0,5		

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos		Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 072	744.569,00	8.198.144,00	798,17	3	4,69	2,5	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,533049041	0,184339779
				1	8,11	1,5			0,184956843	
				2	8,76	1,6			0,182648402	
				3	8,09	1,5			0,185414091	
BL8 - 073	744.348,00	8.198.759,00	778,76	1	x	x	Área brejosa.			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 074	745.102,00	8.198.689,00	840,72	1	27,51	2	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,072700836	0,071490399
				2	27,94	2			0,071581961	
				3	27,07	1,9			0,0701884	
BL8 - 075	745.141,00	8.198.430,00	848,20	1	27,86	1,15	20cm	2cm	0,041277818	0,041989525
				2	27,98	1,2			0,042887777	
				3	27,51	1,15			0,041802981	
BL8 - 076	745.232,00	8.198.455,00	848,39	1	1,57	2,9	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		1,847133758	1,804982508
				2	1,56	3			1,923076923	
				3	1,52	2,5			1,644736842	
BL8 - 077	745.324,07	8.197.391,00	877,80	1	5,92	3,8	30cm	2cm	0,641891892	0,617027503
				2	5,72	3,5			0,611888112	
				3	5,19	3,1			0,597302505	
BL8 - 078	745.560,00	8.197.453,00	884,57	1	2,88	4,9	50cm	3cm	1,701388889	1,71864959
				2	2,78	4,8			1,726618705	
				3	2,72	4,7			1,727941176	
BL8 - 079	745.257,00	8.197.668,00	864,26	1	9,76	1,8	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,18442623	0,181025473
				2	9,47	1,7			0,179514256	
				3	9,49	1,7			0,179135933	
BL8 - 080	744.914,00	8.196.986,00	883,88	1	29,66	1	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,033715442	0,033640167
				2	29,86	1			0,033489618	
				3	29,66	1			0,033715442	
BL8 - 081	744.850,00	8.196.926,00	876,56	1	5,46	1,8	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,32967033	0,330697967
				2	5,44	1,8			0,330882353	
				3	5,58	1,85			0,331541219	
BL8 - 082	744.513,00	8.196.927,00	879,00	1	10,48	2,4	30cm	4cm	0,229007634	0,23083026
				2	10,68	2,475			0,231741573	
				3	10,68	2,475			0,231741573	
BL8 - 083	744.249,00	8.196.776,00	881,64	1	2,19	1	30cm	4cm	0,456621005	0,45971293
				2	2,44	1,1			0,450819672	

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 084	744.391,00	8.197.478,00	854,07	3	2,12	1	1,20m	40cm	0,471698113	0,177265636
				1	8,48	1,5			0,176886792	
				2	8,32	1,5			0,180288462	
				3	8,59	1,5			0,174621653	
BL8 - 085	739.457,00	8.197.822,00	853,15	1	17,24	0,75	20cm	10cm	0,04350348	0,042870011
				2	17,65	0,75			0,042492918	
				3	17,6	0,75			0,042613636	
BL8 - 086	739.813,00	8.198.031,00	846,02	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 087	739.900,00	8.198.303,00	842,62	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 088	744.108,00	8.197.757,00	860,00	1	5,05	8	1m	15cm	1,584158416	1,595020785
				2	5,47	8,8			1,608775137	
				3	5,59	8,9			1,592128801	
BL8 - 089	744.827,00	8.198.232,00	854,00	1	6,1	0,8	10cm	2cm	0,131147541	0,133230852
				2	6,16	0,8			0,12987013	
				3	6,49	0,9			0,138674884	
BL8 - 090	742.249,00	8.205.046,00	804,22	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 091	742.518,00	8.205.057,00	757,20	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 092	743.170,00	8.203.600,00	756,00	1	x	Sem dados				
				2	x	Sem dados				
				3	x	Sem dados				
BL8 - 093	742.965,00	8.204.524,00	736,51	1	x	Seca	x			
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 094	742.774,00	8.204.183,00	770,05	1	31,5	3,5	60x5cm	0,111111111	0,110732504	
				2	30,6	3,5		0,114379085		
				3	32,8	3,5		0,106707317		
BL8 - 095	742.593,00	8.204.158,00	778,76	1	109,9	3,5	25x5cm	0,031847134	0,078740305	
				2	182,4	3,5		0,019188596		

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos		Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 096	742.571,00	8.204.119,00	775,43	3	18,9	3,5	x		0,185185185	
				1	x	Seca				
				2	x	Seca				
				3	x	Seca				
BL8 - 097	741.998,00	8.204.136,00	792,24	1	15,5	10	25x5cm		0,64516129	0,690567352
				2	14,7	10			0,680272109	
				3	13,4	10			0,746268657	
BL8 - 098	741.983,00	8.204.141,00	788,00	1	15,5	10	25x5cm		0,64516129	0,690567352
				2	14,7	10			0,680272109	
				3	13,4	10			0,746268657	
BL8 - 099	741.117,00	8.203.863,00	840,01	1	x	x	x			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 100	740.702,00	8.203.258,00	831,01	1	6,5	10	1m x7cm		1,538461538	1,708587709
				2	6,3	10			1,587301587	
				3	5	10			2	
BL8 - 101	740.742,00	8.203.270,00	829,63	1	6,5	10	1m x7cm		1,538461538	1,708587709
				2	6,3	10			1,587301587	
				3	5	10			2	
BL8 - 102	740.672,00	8.204.091,00	789,74	1	x	10	42 x7cm			
				2	x	10				
				3	x	10				
BL8 - 103	740.423,00	8.204.133,00	805,81	1	14,5	2,5	10 x7cm		0,172413793	0,208486084
				2	12,8	2,5			0,1953125	
				3	9,7	2,5			0,257731959	
BL8 - 104	740.239,00	8.204.107,00	811,57	1	6,5	10	80 x10cm		1,538461538	1,472500159
				2	7,1	10			1,408450704	
				3	6,8	10			1,470588235	
BL8 - 105	740.380,00	8.202.806,00	851,14	1	x	10	x			
				2	x	10				
				3	x	10				
BL8 - 106	743.027,00	8.205.080,00	707,20	1	10,3	3,5	71x6cm		0,339805825	0,356561755
				2	9,9	3,5			0,353535354	
				3	9,3	3,5			0,376344086	
BL8 - 107	741.794,00	8.204.891,00	795,85	1	8,7	3,5	30x1cm		0,402298851	0,435187418
				2	7,8	3,5			0,448717949	

Código	X	Y	Z	1ª Campanha						
				Tempo em segundos		Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 108	739.598,00	8.203.988,00	849,82	3	7,7	3,5	x		0,454545455	
				1	x	3,5				
				2	x	3,5				
				3	x	3,5				
BL8 - 109	738.643,00	8.203.571,00	850,22	1	15,8	3,5	60x19cm		0,221518987	0,222610509
				2	16,2	3,5				
				3	15,2	3,5				
BL8 - 110	738.853,00	8.203.427,00	833,91	1	2,8	3,5	45x17cm		1,25	1,267683466
				2	2,9	3,5				
				3	2,6	3,5				
BL8 - 111	738.948,00	8.203.489,00	829,46	1	x	3,5	x			
				2	x	3,5				
				3	x	3,5				
BL8 - 112	739.250,00	8.203.309,00	830,63	1	6,7	3,5	1.5mx2cm		0,52238806	0,798982536
				2	4,3	3,5				
				3	3,3	3,5				
BL8 - 113	738.595,00	8.203.895,00	852,39	1	3	3,5	10cmx5cm		1,166666667	1,167531825
				2	2,9	3,5				
				3	3,1	3,5				
BL8 - 114	744.198,00	8.198.375,00	822,03	1	29	3,5	28x4cm		0,120689655	0,120013388
				2	28,9	3,5				
				3	29,6	3,5				
BL8 - 115	744.237,00	8.198.429,00	806,21	1	x	x	15x3cm			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 116	744.286,00	8.198.636,00	785,88	1	x	x	x			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 117	744.325,00	8.198.753,00	779,14	1	x	x	x			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 118	744.316,00	8.198.784,00	779,22	1	x	x	x			
				2	x	x				
				3	x	x				
BL8 - 119	744.317,00	8.198.814,00	776,10	1	x	x	60x1,5cm			
				2	x	x				

Código	X	Y	Z	1ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 120	744.282,00	8.198.879,00	784,52	3	x	x	62x0,8cm		
				1	x	x			
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 121	744.203,00	8.199.121,00	776,15	1	x	x	38x43cm		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 122	743.990,00	8.199.158,00	782,00	1	x	x	6mx 8cm		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 123	743.635,00	8.199.099,00	798,36	1	3,4	3,5	32x8cm	1,029411765	1,039809863
				2	3,4	3,5		1,029411765	
				3	3,3	3,5		1,060606061	
BL8 - 124	743.630,00	8.199.105,00	794,02	1	7,5	10	25x18cm	1,333333333	1,321637427
				2	7,6	10		1,315789474	
				3	7,6	10		1,315789474	
BL8 - 125	743.626,00	8.199.131,00	796,93	1	58,6	10	11x2cm	0,170648464	0,179324367
				2	54,8	10		0,182481752	
				3	54,1	10		0,184842884	
BL8 - 126	742.997,00	8.199.122,00	855,06	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 127	741.371,00	8.197.300,00	856,45	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 128	742.501,00	8.199.952,00	760,58	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 129	742.473,00	8.200.117,00	764,93	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 130	742.294,00	8.200.236,00	755,16	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 131	742.267,00	8.200.261,00	754,54	1	x	x	x		
				2	x	x			

Código	X	Y	Z	1ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 132	741.976,00	8.200.306,00	759,58	3	x	x	2mx15cm		1,602475791
				1	6,3	10		1,587301587	
				2	5,3	10		1,886792453	
				3	7,5	10		1,333333333	
BL8 - 133	741.986,00	8.200.434,00	755,00	1	x	Seca	x		0
				2	x	Seca			
				3	x	Seca			
BL8 - 134	741.830,00	8.200.556,00	758,00	1	18,6	10	88x6cm	0,537634409	0,59876421
				2	15,5	10		0,64516129	
				3	16,3	10		0,613496933	
BL8 - 135	741.779,00	8.200.708,00	759,71	1	x	x	Área brejosa.		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 136	740.791,00	8.199.349,00	860,68	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 137	739.835,00	8.202.900,00	839,85	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			
BL8 - 138	742.958,00	8.202.273,00	804,36	1	x	x	x		
				2	x	x			
				3	x	x			

Tabela 4-2: Dados das Nascentes Cadastradas no Entorno do Complexo Minerário – 2ª Campanha

Código	X	Y	Z	2ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 001	742.961,00	8.203.873,00	777,57	1	7,88	7,0	2m	15cm	0,888324873	0,957373723
				2	8,64	8,5			0,983796296	
				3	7,97	7,97			1,00	
BL8 - 002	743.074,00	8.204.306,00	761,76	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 003	743.156,00	8.203.739,00	755,39	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 004	743.103,00	8.203.603,00	773,55	1		Seca	1,20m	7cm		
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 005	743.127,00	8.203.366,00	766,33	1	28,24	2,0	7cm	2m	0,07082153	0,072190474
				2	26,12	2,0			0,076569678	
				3	28,91	2,0			0,069180214	
BL8 - 006	743.016,00	8.202.954,00	780,62	1			Área brejosa.			
				2						
				3						
BL8 - 007	742.994,00	8.203.023,00	781,62	1	26,54	3,5	1m	5cm	0,131876413	0,133134363
				2	30,5	4,0			0,131147541	
				3	29,33	4,0			0,136379134	
BL8 - 008	743.038,00	8.202.673,00	777,64	1	27,27	4,0	3m	60cm	0,146681335	0,127652072
				2	40,60	5,0			0,123152709	
				3	35,36	4,0			0,113122172	
BL8 - 009	742.826,00	8.202.247,00	796,75	1	30,91	2,0	60cm	6cm	0,064703979	0,067222156
				2	37,32	2,6			0,069667738	
				3	37,15	2,5			0,067294751	
BL8 - 010	742.904,00	8.201.666,00	788,09	1	37,40	2,1	2m	70cm	0,056149733	0,054381219
				2	38,50	2,0			0,051948052	
				3	38,15	2,1			0,055045872	
BL8 - 011	742.865,00	8.201.114,00	787,81	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 012	742.658,00	8.200.361,00	762,62	1		Seca	x			
				2		Seca				

Código	X	Y	Z	2ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 013	742.265,00	8.200.946,00	851,54	3		Seca	x		
				1		Seca			
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 014	742.046,00	8.200.997,00	822,72	1		Seca	90cm	10cm	
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 015	741.630,00	8.201.161,00	795,04	1	29,81	3,5	15cm	3cm	0,117410265
				2	29,99	4			0,133377793
				3	31,8	4			0,125786164
BL8 - 016	741.214,00	8.201.284,00	779,41	1		Seca	50cm	6cm	
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 017	741.153,00	8.201.260,00	779,99	1	10,95	6,0	1,1m	30cm	0,547945205
				2	12,16	6,0			0,493421053
				3	10,88	5,9			0,542279412
BL8 - 018	741.530,00	8.201.125,00	767,98	1	29,81	3,5	70cm	10cm	0,112287456
				2	29,99	4			0,152033447
				3	31,8	4			0,142450142
BL8 - 019	740.559,00	8.200.396,00	794,65	1	31,17	2,2	3m	2cm	0,0705806
				2	26,31	2,0			0,076167
				3	28,08	2,1			0,0747863
BL8 - 020	740.694,00	8.200.458,00	780,67	1	24,91	1,1	15cm	50cm	0,044158972
				2	28,77	1,2			0,041710115
				3	38,44	1,4			0,036420395
BL8 - 021	739.216,00	8.201.096,00	826,10	1	10,39	2,2	2m	12cm	0,21174206
				2	10,30	1,5			0,145631068
				3	10,22	2,0			0,195694716
BL8 - 022	739.064,00	8.201.310,00	853,22	1	10,30	6,0	2m	30cm	0,582524272
				2	10,55	6,1			0,578199052
				3	10,26	5,6			0,545808967
BL8 - 023	738.425,00	8.201.185,00	851,00	1		Seca	80cm	13cm	
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 024	738.401,00	8.200.937,00	851,57	1		Seca	x		
				2		Seca			

Código	X	Y	Z	2ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 025	736.493,00	8.200.885,00	910,62	3		Seca	80cm	6cm	0,537634409	0,533449555
				1	10,23	5,5				
				2	10,45	5,5				
				3	10,44	5,6				
BL8 - 026	738.442,00	8.199.586,00	881,20	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 027	738.557,00	8.199.486,00	879,55	1	9,33	3,9	80cm	5cm	0,418006431	0,410548314
				2	8,60	3,6			0,418604651	
				3	8,86	3,5			0,39503386	
BL8 - 028	737.515,00	8.197.327,00	908,49	1	10,5	5,10	40cm	30cm	0,485714286	0,528317121
				2	9,8	4,92			0,502040816	
				3	10,7	6,39			0,597196262	
BL8 - 029	744.129,00	8.205.012,00	753,38	1		seca	60cm	5cm		
				2		seca				
				3		seca				
BL8 - 030	744.082,00	8.204.853,00	785,64	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 031	743.858,00	8.205.328,00	756,53	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 032	744.090,00	8.204.753,00	781,08	1		seca	1m	15cm		
				2		seca				
				3		seca				
BL8 - 033	743.651,00	8.204.347,00	700,49	1		seca	80cm	12cm		
				2		seca				
				3		seca				
BL8 - 034	743.805,47	8.204.036,50	731,04	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 035	743.931,00	8.203.794,00	727,33	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 036	744.126,00	8.203.530,00	743,00	1		Seca	x			

Código	X	Y	Z	2ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 037	744.316,00	8.203.291,00	762,58	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 038	744.409,00	8.203.300,00	779,13	1	58,99	7,69	15cm	5cm	0,130361078	0,127583797
				2	57,11	7,00			0,122570478	
				3	59,39	7,71			0,129819835	
BL8 - 039	744.482,00	8.203.165,00	805,67	1		seca	25cm	7cm		
				2		seca				
				3		seca				
BL8 - 040	744.325,00	8.202.901,00	756,00	1	78,29	8,00	17cm	3cm	0,102184187	0,117074926
				2	57,11	7,00			0,122570478	
				3	62,07	7,85			0,126470114	
BL8 - 041	744.438,00	8.202.704,00	795,03	1	22,32	7,00	60cm	15cm	0,313620072	0,318003051
				2	22,96	7,05			0,307055749	
				3	21,00	7,00			0,333333333	
BL8 - 042	744.358,00	8.202.620,00	798,78	1	11,96	8,60	0,5cm	25cm	0,719063545	0,724116914
				2	11,56	8,30			0,71799308	
				3	12,24	9,00			0,735294118	
BL8 - 043	743.918,00	8.202.724,00	823,97	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 044	744.057,00	8.202.525,00	779,85	1	10,16	3,5	1m	2cm	0,344488189	0,347649331
				2	10,04	3,5			0,348605578	
				3	10,29	3,6			0,349854227	
BL8 - 045	743.940,00	8.202.497,00	782,98	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		seca				
BL8 - 046	743.693,00	8.202.414,00	760,01	1		seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 047	743.881,00	8.202.269,00	767,47	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				

Código	X	Y	Z	2ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 048	744.057,00	8.202.030,00	781,61	1	Seca	Área brejosa.			
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 049	743.794,00	8.201.903,00	772,75	1	Seca	1m	12cm		
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 050	744.125,00	8.201.699,00	787,68	1	Seca	x			
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 051	744.373,00	8.201.580,00	818,48	1	Seca	20cm	5cm		
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 052	744.002,00	8.201.241,00	786,18	1	Seca	30cm	5cm		
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 053	744.053,00	8.200.943,00	798,40	1	Seca	50cm	2cm		
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 054	743.895,00	8.200.639,00	750,25	1	Seca	x			
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 055	743.802,00	8.200.604,00	754,33	1	Seca	x			
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 056	744.206,00	8.200.572,00	761,49	1	Seca	x			
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 057	744.209,00	8.200.829,00	771,10	1	Seca	20cm	3cm		
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 058	744.244,00	8.200.470,00	764,00	1	Seca	x			
				2	Seca				
				3	Seca				
BL8 - 059	744.387,93	8.200.445,07	767,13	1	Seca	30cm	3cm		
				2	Seca				
				3	Seca				

Código	X	Y	Z	2ª Campanha							
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)		
BL8 - 060	744.842,00	8.200.418,00	816,06	1	30,70	1,40	60cm	7cm	0,045602606	0,045941217	
				2	31,57	1,60			0,050681026		
				3	49,35	2,05			0,04154002		
BL8 - 061	744.885,00	8.200.298,00	825,13	1		Seca	x				
				2		Seca					
				3		Seca					
BL8 - 062	744.880,00	8.200.201,00	813,17	1	32,05	3,00	40cm	7cm	0,093603744	0,099441485	
				2	28,44	2,90			0,101969058		
				3	28,71	2,95			0,102751654		
BL8 - 063	743.553,00	8.200.140,00	805,94	1		Seca	x				
				2		Seca					
				3		Seca					
BL8 - 064	744.242,00	8.199.970,00	827,63	1	10,49	1,0	20cm	12cm	0,095328885	0,10022316	
				2	10,42	1,1			0,105566219		
				3	10,02	1,0			0,099800399		
BL8 - 065	744.228,00	8.199.909,00	803,00	1		Seca	30cm	1cm			
				2		Seca					
				3		Seca					
BL8 - 066	744.241,00	8.199.521,00	828,21	1		Seca	x				
				2		Seca					
				3		Seca					
BL8 - 067	744.380,00	8.199.453,00	822,43	1	10,11	3,20	1,0m	40cm	0,316518299	0,298191	
				2	10,46	3,10			0,296367113		
				3	10,65	3,00			0,281690141		
BL8 - 068	745.078,00	8.199.540,00	861,88	1	10,11	3,2	40cm	5cm	0,316518299	0,298191851	
				2	10,46	3,1			0,296367113		
				3	10,65	3,0			0,281690141		
BL8 - 069	745.201,00	8.199.105,00	853,49	1	8,70	7,1	25cm	4cm	0,816091954	0,82437162	
				2	7,46	6,1			0,81769437		
				3	8,34	7,0			0,839328537		
BL8 - 070	744.482,00	8.198.375,00	801,67	1	10,02	2,0	30cm	1cm	0,199600798	0,194616045	
				2	10,43	2,0			0,191754554		
				3	10,39	2,0			0,192492782		
BL8 - 071	745.023,00	8.197.945,00	850,72	1		Seca	x				
				2		Seca					
				3		Seca					

Código	X	Y	Z	2ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 072	744.569,00	8.198.144,00	798,17	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 073	744.348,00	8.198.759,00	778,76	1			Área brejosa.			
				2						
				3						
BL8 - 074	745.102,00	8.198.689,00	840,72	1		Seca	X			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 075	745.141,00	8.198.430,00	848,20	1	90,71	2,1	20cm	2cm	0,0231507	0,02370685
				2	107,97	2,2			0,02037603	
				3	108,72	3,0			0,027593819	
BL8 - 076	745.232,00	8.198.455,00	848,39	1	32,37	3,0	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,092678406	0,102122992
				2	24,20	2,6			0,107438017	
				3	24,47	2,6			0,106252554	
BL8 - 077	745.324,07	8.197.391,00	877,80	1	8,08	4,80	30cm	2cm	0,594059406	0,613888567
				2	6,49	3,95			0,608628659	
				3	6,26	4,00			0,638977636	
BL8 - 078	745.560,00	8.197.453,00	884,57	1	9,40	4,7	50cm	3cm	0,5	0,48433848
				2	9,57	4,8			0,501567398	
				3	11,74	5,3			0,451448041	
BL8 - 079	745.257,00	8.197.668,00	864,26	1	13,25	3,1	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,233962264	0,235419641
				2	13,48	3,1			0,229970326	
				3	12,38	3,0			0,242326333	
BL8 - 080	744.914,00	8.196.986,00	883,88	1	10,43	2,5	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,239693193	0,21179597
				2	10,22	2,0			0,195694716	
				3	10,50	2,1			0,2	
BL8 - 081	744.850,00	8.196.926,00	876,56	1	10,41	4,0	Área brejosa. Foi aberta uma vala para medir vazão		0,384245917	0,381590304
				2	10,62	4,0			0,376647834	
				3	10,42	4,0			0,383877159	
BL8 - 082	744.513,00	8.196.927,00	879,00	1			Vazão baixa, não deu para medir			
				2						
				3						
BL8 - 083	744.249,00	8.196.776,00	881,64	1	10,29	2,7	30cm	4cm	0,262390671	0,246976563
				2	10,36	2,5			0,241312741	
				3	10,96	2,6			0,237226277	

Código	X	Y	Z	2ª Campanha						
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)	
BL8 - 084	744.391,00	8.197.478,00	854,07	1	10,11	1,0	1,20m	40cm	0,098911968	0,09643769
				2	10,41	1,0			0,096061479	
				3	10,60	1,0			0,094339623	
BL8 - 085	739.457,00	8.197.822,00	853,15	1		Seca	20cm	10cm		
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 086	739.813,00	8.198.031,00	846,02	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 087	739.900,00	8.198.303,00	842,62	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 088	744.108,00	8.197.757,00	860,00	1	4,2	5,5	1m	15cm	1,30952381	1,180490145
				2	5,2	6,3			1,211538462	
				3	5,88	6,0			1,020408163	
BL8 - 089	744.827,00	8.198.232,00	854,00	1		Seca	10cm	2cm		
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 090	742.249,00	8.205.046,00	804,22	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 091	742.518,00	8.205.057,00	757,20	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 092	743.170,00	8.203.600,00	756,00	1	20,5	2,1			0,102439024	0,0969431
				2	26,59	2,2			0,082737871	
				3	18,93	2			0,105652404	
BL8 - 093	742.965,00	8.204.524,00	736,51	1		Seca	x			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 094	742.774,00	8.204.183,00	770,05	1		Seca	60x5cm			
				2		Seca				
				3		Seca				
BL8 - 095	742.593,00	8.204.158,00	778,76	1		Seca	25x5cm			
				2		Seca				
				3		Seca				

Código	X	Y	Z	2ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 096	742.571,00	8.204.119,00	775,43	1		Seca	x		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 097	741.998,00	8.204.136,00	792,24	1	10,45	0,8	25x5cm	0,076555024	0,081498467
				2	11,21	1,2		0,107047279	
				3	14,78	0,9		0,060893099	
BL8 - 098	741.983,00	8.204.141,00	788,00	1	31,68	2,0	25x5cm	0,063131313	0,050211464
				2	42,11	2,0		0,047494657	
				3	47,49	1,9		0,040008423	
BL8 - 099	741.117,00	8.203.863,00	840,01	1			x		
				2					
				3					
BL8 - 100	740.702,00	8.203.258,00	831,01	1		Seca	1m x7cm		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 101	740.742,00	8.203.270,00	829,63	1	5,00	8,0	1m x7cm	1,6	1,489657537
				2	5,50	8,0		1,454545455	
				3	7,07	10,0		1,414427157	
BL8 - 102	740.672,00	8.204.091,00	789,74	1		Seca	42 x7cm		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 103	740.423,00	8.204.133,00	805,81	1	3,00	6	10 x7cm	2	1,831822738
				2	3,63	6,5		1,790633609	
				3	3,93	6,7		1,704834606	
BL8 - 104	740.239,00	8.204.107,00	811,57	1		Seca	80 x10cm		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 105	740.380,00	8.202.806,00	851,14	1	12,47	3,5	65 x15cm	0,280673617	0,273446309
				2	13,75	4		0,290909091	
				3	16,08	4		0,248756219	
BL8 - 106	743.027,00	8.205.080,00	707,20	1		Seca	71x6cm		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 107	741.794,00	8.204.891,00	795,85	1		Seca	30x1cm		
				2		Seca			
				3		Seca			

Código	X	Y	Z	2ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 108	739.598,00	8.203.988,00	849,82	1		Seca	x		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 109	738.643,00	8.203.571,00	850,22	1		Seca	60x19cm		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 110	738.853,00	8.203.427,00	833,91	1	10,76	4,00	45x17cm	0,371747212	0,389838794
				2	15,48	6,00		0,387596899	
				3	12,19	5,00		0,410172272	
BL8 - 111	738.948,00	8.203.489,00	829,46	1	15,83	3,00	x	0,189513582	0,164865426
				2	19,60	3,10		0,158163265	
				3	21,10	3,10		0,146919431	
BL8 - 112	739.250,00	8.203.309,00	830,63	1	16,33	4	1.5mx2cm	0,244947949	0,256199076
				2	18,08	4,9		0,271017699	
				3	19,00	4,8		0,252631579	
BL8 - 113	738.595,00	8.203.895,00	852,39	1		0,1	10cmx5cm	#DIV/0!	0,1
				2		0,1		#DIV/0!	
				3		0,1		#DIV/0!	
BL8 - 114	744.198,00	8.198.375,00	822,03	1	10,42	1,7	28x4cm	0,163147793	0,177159894
				2	10,52	2,0		0,190114068	
				3	10,10	1,8		0,178217822	
BL8 - 115	744.237,00	8.198.429,00	806,21	1	10,28	1,2	15x3cm	0,116731518	0,105758602
				2	10,54	1		0,09487666	
				3	10,41	1,1		0,105667627	
BL8 - 116	744.286,00	8.198.636,00	785,88	1	10,36	1,0	x	0,096525097	0,107035403
				2	10,40	1,1		0,105769231	
				3	10,10	1,2		0,118811881	
BL8 - 117	744.325,00	8.198.753,00	779,14	1		Vazão baixa	x		
				2		Vazão baixa			
				3		Vazão baixa			
BL8 - 118	744.316,00	8.198.784,00	779,22	1		Seca	x		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 119	744.317,00	8.198.814,00	776,10	1		Seca	60x1,5cm		

Código	X	Y	Z	2ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
BL8 - 120	744.282,00	8.198.879,00	784,52	2		Seca	62x0,8cm		
				3		Seca			
				1		Seca			
BL8 - 121	744.203,00	8.199.121,00	776,15	2		Seca	38x43cm		
				3		Seca			
				1		Seca			
BL8 - 122	743.990,00	8.199.158,00	782,00	1	6,69	2,9	6mx 8cm	0,43348281	0,406159291
				2	10,13	3,9		0,384995064	
				3	6,75	2,7		0,4	
BL8 - 123	743.635,00	8.199.099,00	798,36	1	8,55	8,6	32x8cm	1,005847953	1,077652643
				2	4,25	4,9		1,152941176	
				3	3,91	4,2		1,074168798	
BL8 - 124	743.630,00	8.199.105,00	794,02	1	12,36	4,4	25x18cm	0,355987055	0,370192425
				2	9,32	3,6		0,386266094	
				3	10,86	4		0,368324125	
BL8 - 125	743.626,00	8.199.131,00	796,93	1		Seca	11x2cm		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 126	742.997,00	8.199.122,00	855,06	1		Seca	x		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 127	741.371,00	8.197.300,00	856,45	1	0	0,6	Nascente córrego Batalha - Medida com micromolinetete a jusante da barragem		0,6
				2	0	0,6			
				3	0	0,6			
BL8 - 128	742.501,00	8.199.952,00	760,58	1		Seca	x		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 129	742.473,00	8.200.117,00	764,93	1		Seca	x		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 130	742.294,00	8.200.236,00	755,16	1		Seca	x		
				2		Seca			
				3		Seca			
BL8 - 131	742.267,00	8.200.261,00	754,54	1		Seca	x		

Código	X	Y	Z	2ª Campanha					
				Tempo em segundos	Litros	Largura	Profundidade	Vazão(L/s)	Vazão Média (l/s)
				2		Seca			
				3		Seca			
				1		0			
BL8 - 132	741.976,00	8.200.306,00	759,58	2		0	Vazão baixa, não deu para medir		
				3		0			
				1		Seca			
BL8 - 133	741.986,00	8.200.434,00	755,00	2		Seca	x		
				3		Seca			
				1		Seca			
BL8 - 134	741.830,00	8.200.556,00	758,00	2		Seca	88x6cm		
				3		Seca			
				1		Seca			
BL8 - 135	741.779,00	8.200.708,00	759,71	2	x	x	Area brejosa		
				3	x	x			
				1	x	x			
BL8 - 136	740.791,00	8.199.349,00	860,68	2	6,02	7	70x12cm	1,162790698	1,14896132
				3	6,31	7		1,109350238	
				1	6,81	8		1,174743025	
BL8 - 137	739.835,00	8.202.900,00	839,85	2	11,39	2	80x16cm	0,175592625	0,156054337
				3	13,70	2,1		0,153284672	
				1	14,00	1,95		0,139285714	
BL8 - 138	742.958,00	8.202.273,00	804,36	2	27,78	2	x	0,07199424	0,068969008
				3	37,29	2,2		0,05899705	
				1	52,69	4		0,075915734	

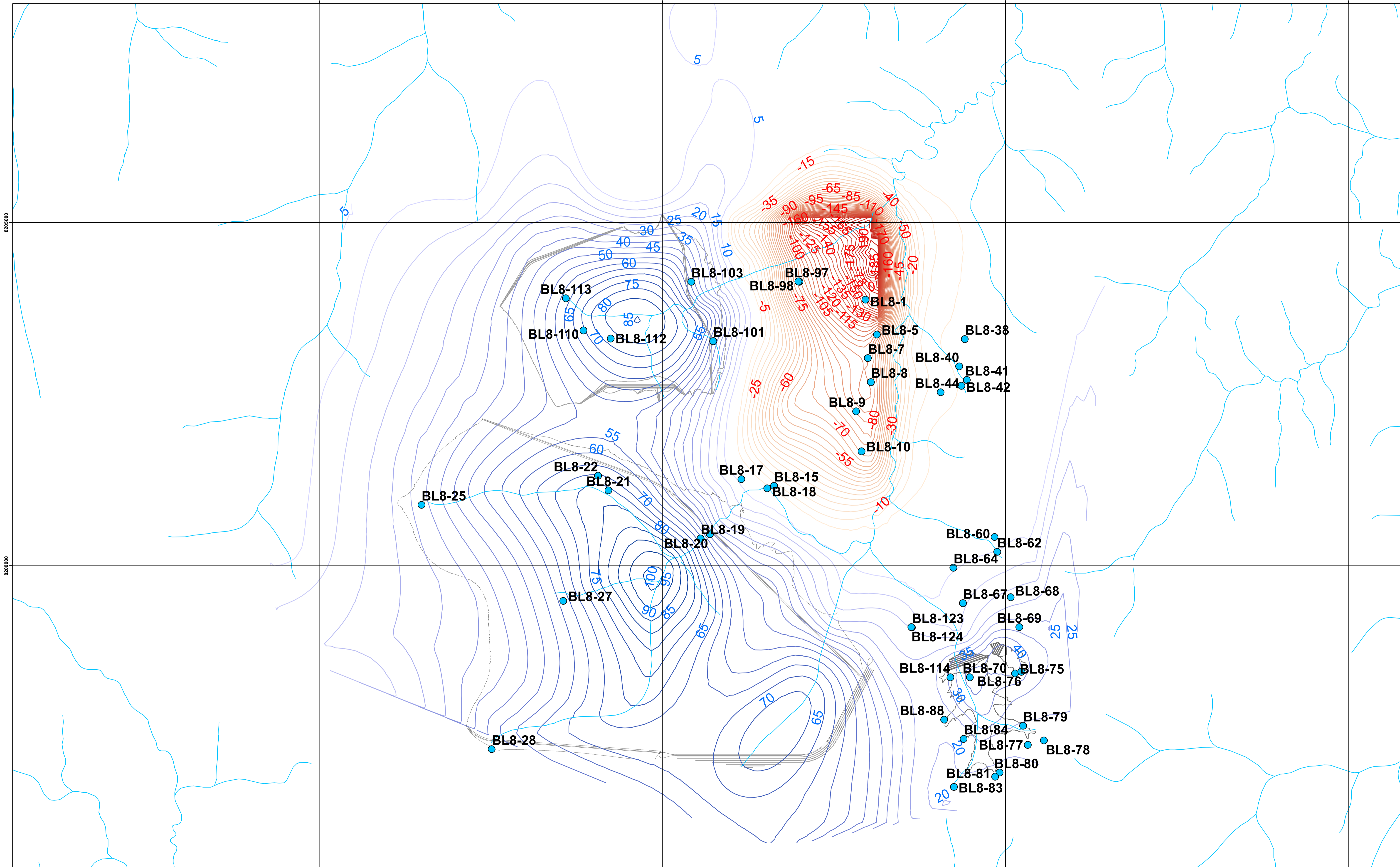
Obs.: Nos pontos em que não apresentam os valores de vazão, estas não foram medidas devido a situações, tais como: Braço seco, área brejosa ou não acesso a nascente.
Fonte: SAM, 2014.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO HIDROGEOLOGIA MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO CONCEITUAL	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Folha 71/71
	WBH28-17-SAM-RTE-0005	Revisão 2

ANEXO 2



NOTAS

REV.	TE.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	PARA APROVAÇÃO	AF	AF	RS	SF	27/09/2018
0	A	PRELIMINAR	AF	AF	RS	SF	10/09/2018

REVISÕES							
T.E.	(A) PRELIMINAR	(C) PARA CONHECIMENTO	(E) PARA CONSTRUÇÃO	(G) CONFORME CONSTRUÍDO	(I) PARA APROVAÇÃO	(D) PARA COTAÇÃO	(F) CONFORME COMPRADO
TIPO DE EMISSÃO							



MODELO HIDROGEOLÓGICO

BLOCO 8
VARIAÇÃO DAS CARGAS HIDRÁULICAS PARA A
CONDIÇÃO DE MÁXIMO REBAIXAMENTO

ESCALA:	1:25.000	Nº CONTRATANTE:	MINA_BLC8007-1010-G-RE-05	Nº CONTRATADA:	WBH28-17-SAM-RTE-0005	REVISÃO:	1
---------	----------	-----------------	---------------------------	----------------	-----------------------	----------	---