



**ESTUDO PARA ATUALIZAÇÃO DO PEDIDO DE  
OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE  
ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

**AGOSTO DE 2019**



## ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

**Título do Projeto:** Atualização de outorga de rebaixamento de nível de água – Mina de Fábrica  
**Contrato:** 5900002816  
**Vigência Contrato:** 02/08/2018 a 30/11/2018  
**Centro de Custo:** 873  
**Local:** Congonhas/Ouro Preto - MG

## DADOS DA CONTRATANTE

**Contratante:** VALE S.A.  
**CNPJ:** 33.592.510/0037-65  
**Endereço:** Avenida Doutor Marco Paulo Simon Jardim, nº 3580 - Mina de Águas Claras, Nova Lima  
**Gestor do Contrato:** [REDACTED]  
**Contato:** [REDACTED]

## RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

**Razão Social:** MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.  
**CNPJ:** 38.625.927/0001-90  
**Responsável Técnico:** [REDACTED]  
**Contato:** Rua Gararu, 389, Sagrada Família  
31.035-470 – Belo Horizonte – MG  
Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602  
Fax: (+55) 31-3481-8911  
mdgeo@mdgeo.com.br  
**Anotação de Resp. Técnica – ART:** 4855089 – Breno Pereira – Eng Geo – Responsável Técnico

## EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
[REDACTED] (ABT)	Consultor em Hidrogeologia	Responsabilidade técnica
[REDACTED]	Hidrogeólogo sênior	Gerente do projeto Revisão dos trabalhos
[REDACTED] Eng. Ambiental	Analista Ambiental	Modelagem numérica e relatório
[REDACTED]	Analista de Geoprocessamento	Elaboração de mapas
[REDACTED] (RNC)	Técnica em Meio Ambiente	Atividades de campo
[REDACTED]	Auxiliar de campo	Atividades de campo
[REDACTED]	Estagiária de Hidrogeologia	Compilação de dados

## REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROV.	FINALIDADE
V01	21/11/18	SIP		Versão para revisão interna
RI	27/11/18	BAP		Revisão interna
RIC	27/11/18	SIP		Revisão interna corrigida
R01	27/11/18	SIP	BAP	1ª Versão enviada para o cliente
R02	04/12/18	SIP	BAP	2ª Versão enviada para o cliente com as adequações solicitadas
R03	07/12/18	MDGEO	VALE	Versão anteriormente aprovada pelo cliente
V02	23/07/19	SIP		Revisão relatório
R04	25/07/19	SIP	BAP	Versão revisada enviada para o cliente
R05	14/08/19	SIP	BAP	Versão revisada enviada para o cliente
RF	26/08/19	SIP	VALE	Versão revisada aprovada pelo cliente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS ANTERIORES.....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO .....</b>	<b>14</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO.....	14
4.2	CONTEXTO HIDROGRÁFICO.....	18
4.3	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E ESTRUTURAL.....	20
4.3.1	<i>Geologia Regional</i> .....	20
4.3.2	<i>Geologia Local</i> .....	23
<b>5</b>	<b>DADOS DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO .....</b>	<b>28</b>
5.1	PLUVIOMETRIA .....	28
5.2	PIEZOMETRIA.....	32
5.2.1	<i>Áreas 8 e 9</i> .....	35
5.2.2	<i>Área 9 ½ e 10</i> .....	37
5.2.3	<i>Segredo e Ponto 3 (ou Área 15)</i> .....	41
5.2.4	<i>Ponto 2 (ou Área 18)</i> .....	43
5.3	VAZÃO DOS CURSOS D'ÁGUA.....	46
5.3.1	<i>Pontos de Medição sub-bacia do Rio das Velhas</i> .....	48
5.3.2	<i>Pontos de Medição sub-bacia do Paraopebas</i> .....	50
5.3.3	<i>Campanha de medição de vazão Água (2003)</i> .....	52
5.4	POÇOS E SISTEMA DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA .....	53
5.4.1	<i>Área 9</i> .....	58
5.4.2	<i>Área 9 ½</i> .....	59
5.4.3	<i>Área 10</i> .....	59
5.4.4	<i>Segredo</i> .....	60
5.4.5	<i>Ponto 3</i> .....	61
5.4.6	<i>Ponto 2</i> .....	62
<b>6</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA .....</b>	<b>64</b>
6.1	INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO .....	64
6.2	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL .....	68
6.2.1	<i>Unidades Hidrogeológicas</i> .....	68
6.2.2	<i>Parâmetros Hidrodinâmicos</i> .....	71
6.2.3	<i>Condições de Fluxo de Água Subterrânea</i> .....	74
<b>7</b>	<b>MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO.....</b>	<b>80</b>
7.1.1	<i>Calibrações em regime de escoamento permanente</i> .....	87
7.1.2	<i>Calibrações em regime de escoamento transiente</i> .....	94
<b>8</b>	<b>SIMULAÇÕES DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA SUBTERRÂNEO .....</b>	<b>107</b>
8.1	DADOS DE ENTRADA.....	107
8.1.1	<i>Planejamento de Lavra Utilizado</i> .....	107
8.1.2	<i>Condição Temporal</i> .....	114
8.1.3	<i>Condições de Contorno e Parâmetros Hidrodinâmicos</i> .....	116
8.1.4	<i>Estruturas de Rebaixamento Utilizadas</i> .....	116
8.2	RESULTADOS OBTIDOS .....	119
8.2.1	<i>Níveis D'água</i> .....	119
8.2.1.1	<i>ÁREA 8</i> .....	120
8.2.1.2	<i>ÁREA 9</i> .....	122
8.2.1.3	<i>ÁREA 9 ½</i> .....	124
8.2.1.4	<i>SEGREDO E PONTO 3</i> .....	126
8.2.1.5	<i>PONTO 2</i> .....	128

8.2.2	Vazões do sistema de rebaixamento .....	129
8.2.3	Balanço Hídrico .....	137
<b>9</b>	<b>AVALIAÇÃO DE IMPACTOS.....</b>	<b>140</b>
9.1	ALTERAÇÕES NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PREVISTAS NAS SIMULAÇÕES .....	140
9.2	POTENCIAIS INTERFERÊNCIAS EM USOS DE ÁGUA OUTORGADOS PARA TERCEIROS .....	144
<b>10</b>	<b>SISTEMA DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA .....</b>	<b>149</b>
10.1	ESTRUTURAS DE DRENAGEM E REBAIXAMENTO.....	149
10.1.1	Poços tubulares profundos .....	149
10.1.2	Drenos horizontais/sub-horizontais.....	153
10.1.3	Sumps .....	154
10.2	PLANO DE USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	155
10.3	PLANO DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO .....	156
<b>11</b>	<b>CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>160</b>
<b>12</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>162</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1:	Localização da área de estudo.....	10
Figura 4.1:	Localização das estruturas na área da Mina de Fábrica.....	14
Figura 4.2:	Contexto hidrográfico da área de estudo.....	18
Figura 4.3:	Contexto hidrográfico da área de estudo - zoom na área das cavas.....	19
Figura 4.4:	Contexto geológico da área da Mina de Fábrica.....	20
Figura 4.5:	Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Hübener (2009).....	21
Figura 4.6:	Mapa geológico estrutural da área da Mina de Fábrica. Fonte: Compilado de CODEMIG (LOBATO, et al., 2005).....	24
Figura 4.7:	Perfil geológico da área de Fábrica conforme Endo (2003).....	26
Figura 4.8:	Mapa Litoestrutural da mina de Segredo. Fonte: BVP Engenharia, 2011.....	27
Figura 5.1:	Localização do pluviômetro instalado no Complexo de Fábrica.....	29
Figura 5.2:	Precipitação média, máxima e mínima mensal - Mina de Fábrica (1974 a 2018).....	31
Figura 5.3:	Precipitação por ano hidrológico - Mina de Fábrica (1974 a 2018).....	32
Figura 5.4:	Distribuição geral de INAs e Piezômetros na área da Mina de Fábrica.....	33
Figura 5.5:	Evolução dos níveis d'água dos piezômetros e INAs presentes na área de estudo.....	34
Figura 5.6:	Localização instrumentos – Áreas 8 e 9.....	36
Figura 5.7:	Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto das Áreas 8 e 9.....	37
Figura 5.8:	Localização instrumentos - Área 9 ½ e 10.....	39
Figura 5.9:	Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto da cava da Área 10.....	40
Figura 5.10:	Localização instrumentos - Área Segredo/Ponto3.....	42
Figura 5.11:	Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto da cava da Segredo/Ponto3.....	43
Figura 5.12:	Localização instrumentos - Área Ponto 2.....	45
Figura 5.13:	Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto da cava do Ponto 2.....	46
Figura 5.14:	Pontos de medição de vazão utilizados no estudo.....	48
Figura 5.15:	Evolução da vazão nos pontos de medição localizados na sub-bacia do Rio da Velhas.....	49
Figura 5.16:	Evolução da vazão nos pontos de medição localizados na sub-bacia do Rio Paraopeba.....	50
Figura 5.17:	Pontos de medição de vazão – Água Consultores (2004).....	53
Figura 5.18:	Localização dos poços de bombeamento - Mina de Fábrica.....	56
Figura 5.19:	Vazão global de bombeamento e ordem cronológica do início da operação dos poços tubulares.....	57
Figura 5.20:	Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na Área 9.....	58

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

<i>Figura 5.21: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na Área 9 ½</i> .....	59
<i>Figura 5.22: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na Área 10</i> .....	60
<i>Figura 5.23: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na cava Segredo</i> .....	61
<i>Figura 5.24: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na cava Ponto 3</i> .....	62
<i>Figura 5.25: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na cava Ponto 2</i> .....	63
<i>Figura 6.1: Localização nascentes inventariadas na área em estudo – Inventários GODER (2007) e Água (2004)</i> .....	66
<i>Figura 6.2: Condições de fluxo na unidade hidrogeológica da Formação Ferrífera</i> .....	79
<i>Figura 7.1: Malha numérica utilizada</i> .....	81
<i>Figura 7.2: Condições de contorno utilizadas no modelo numérico</i> .....	83
<i>Figura 7.3: Distribuição das propriedades hidrodinâmicas no modelo numérico</i> .....	86
<i>Figura 7.4: Instrumentos utilizado na calibração em regime permanente</i> .....	88
<i>Figura 7.5: Gráfico dos níveis d'água calculado x observado obtidos na calibração em permanente</i> .....	90
<i>Figura 7.6: Equipotenciais do nível d'água resultantes da calibração em permanente (camada 20 - correspondente a elevação média de 1010 m)</i> .....	91
<i>Figura 7.7: Distribuição das zonas de balaço no modelo numérico</i> .....	92
<i>Figura 7.8: Instrumentos utilizado na calibração em regime transiente</i> .....	94
<i>Figura 7.9: Gráfico dos níveis d'água calculado x observado obtidos ao final da calibração em transiente - para instrumentos ativos</i> .....	95
<i>Figura 7.10: Erro médio normalizado-RMS ao longo de todos os períodos de calibração</i> .....	95
<i>Figura 7.11: Área IX - Formação Ferrífera</i> .....	96
<i>Figura 7.12: Área IX - Encaixantes</i> .....	97
<i>Figura 7.13: Entre Área IX e X - Formação Ferrífera</i> .....	97
<i>Figura 7.14 : Área X - Formação Ferrífera</i> .....	98
<i>Figura 7.15: Área X - Encaixantes</i> .....	98
<i>Figura 7.16: Segredo - Formação Ferrífera</i> .....	99
<i>Figura 7.17: Ponto 3 - Formação Ferrífera</i> .....	99
<i>Figura 7.18: Segredo/Ponto 3 - Encaixantes</i> .....	100
<i>Figura 7.19: Ponto 2 - Formação Ferrífera - NW</i> .....	100
<i>Figura 7.20: Ponto 2 - Formação Ferrífera - Central</i> .....	101
<i>Figura 7.21: Ponto 2 - Encaixantes - Leste</i> .....	101
<i>Figura 7.22: Ponto 2 - Encaixantes - Oeste</i> .....	102
<i>Figura 7.23: Equipotenciais do nível d'água resultantes da calibração em transiente (camada 21 - correspondente a elevação média de 990 m)</i> .....	103
<i>Figura 7.24: Vazões monitoradas e calculadas pelo modelo numérico para o VTD 76/08 - Rib. da Prata</i> .....	104
<i>Figura 7.25: Vazões monitoradas e calculadas pelo modelo numérico para o VTD- VTD 09/09 - Afluente do Cor. das Almas</i> .....	104
<i>Figura 7.26: Variação da discrepância entre as vazões totais de água subterrânea que entram e que saem do sistema</i> .....	106
<i>Figura 8.1: Sobreposição das áreas de avanços planejados para os anos de 2018 a 2020</i> .....	111
<i>Figura 8.2: Sobreposição em perfil das áreas de avanços planejados para os anos de 2018 a 2048</i> .....	112
<i>Figura 8.3: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a área da cava 8 (2018, 2020, e 2030)</i> .....	120
<i>Figura 8.4: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava da área 8 (2018, 2020, e 2030)</i> .....	121
<i>Figura 8.5: Vistas em planta (camada 14) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2030 (último ano de lavra na Área 8) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica)</i> .....	121
<i>Figura 8.6: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 (2018, 2040, 2045)</i> .....	122
<i>Figura 8.7: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 (2018, 2040, 2025 e 2045)</i> .....	123
<i>Figura 8.8: Vistas em planta (camada 19) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2045 (último ano de lavra na Área 9) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica)</i> .....	123
<i>Figura 8.9: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 ½ (2018, 2020, 2021)</i> .....	124
<i>Figura 8.10: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 ½ (2018, 2020, e 2021)</i> .....	125

<i>Figura 8.11: Vistas em planta (camada 19) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2021 (último ano de lavra na Área 9 ½) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).</i>	125
<i>Figura 8.12: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a área da cava de Segredo e Ponto 3 (2018, 2020, 2025).</i>	126
<i>Figura 8.13: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava de Segredo e Ponto 3 (2018, 2020, e 2025).</i>	127
<i>Figura 8.14: Vistas em planta (camada 20) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2025 (último ano de lavra Segredo e Ponto 3) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).</i>	127
<i>Figura 8.15: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a área do Ponto 2 (2018, 2020, 2025).</i>	128
<i>Figura 8.16: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava do Ponto 2 (2018, 2020, e 2025).</i>	129
<i>Figura 8.17: Vistas em planta (camada 27) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2025 (último ano de lavra em Ponto 2) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).</i>	129
<i>Figura 8.18: Vazões globais produzidas pelos poços de bombeamento inseridos no modelo numérico.</i>	130
<i>Figura 8.19: Vazões produzidas pelos poços de bombeamento - por áreas (8, 9 e 9 ½).</i>	131
<i>Figura 8.20: Vazões produzidas pelos poços de bombeamento - por áreas (Segredo / Ponto 3 e Ponto 2).</i>	132
<i>Figura 8.21: Vazões dos drenos que representam o sump por áreas.</i>	133
<i>Figura 8.22: Vazões dos drenos que representam os DHPs por áreas.</i>	134
<i>Figura 8.23: Vazões globais produzidas por todo o sistema de rebaixamento (poços + DHPs + sumps).</i>	135
<i>Figura 9.1: Distribuição das zonas de balaço no modelo numérico.</i>	142
<i>Figura 9.2: Vazão global produzida pelo sistema de rebaixamento do nível d'água (SRNA) e impacto na disponibilidade hídrica dos cursos d'água (após 2016).</i>	144
<i>Figura 9.3: Usuários de águas superficiais e subterrâneas outorgados – base de dados do IGAM.</i>	145
<i>Figura 9.4: Usuários de águas superficiais e subterrâneas outorgados – base de dados do IGAM – zoom na área modelada.</i>	147
<i>Figura 10.1: Distribuição dos poços de bombeamento simulados.</i>	151
<i>Figura 10.2: Perfil construtivo conceitual para poços tubulares profundos.</i>	153
<i>Figura 10.3: Perfil construtivo conceitual para drenos horizontais e sub-horizontais.</i>	154
<i>Figura 10.4: Esquema ilustrativo das estruturas de desaguamento utilizadas.</i>	155
<i>Figura 10.5: Ampliação da rede de monitoramento.</i>	158

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 4.1: Litotipos associados à Formação Cauê na área de estudos.</i>	26
<i>Tabela 5.1: Pontos que compõem a rede de monitoramento da Mina de Fábrica (Áreas 8, 9, 9 ½, 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2).</i>	28
<i>Tabela 5.2: Precipitação mensal e estatísticas - Mina de Fábrica (1974 a 2018).</i>	30
<i>Tabela 5.3: Dados cadastrais dos instrumentos das Áreas 8 e 9.</i>	35
<i>Tabela 5.4: Dados cadastrais dos instrumentos das Áreas 9 ½ e 10.</i>	38
<i>Tabela 5.5: Dados cadastrais dos instrumentos das Áreas Segredo e Ponto 3.</i>	41
<i>Tabela 5.6: Dados cadastrais dos instrumentos da área Ponto 2.</i>	43
<i>Tabela 5.7: Dados cadastrais dos pontos de medição de vazão nos cursos d'água do entorno da Mina de Fábrica.</i>	47
<i>Tabela 5.8: Vazões da nascente Água Santa.</i>	51
<i>Tabela 5.9: Pontos de medição de vazão ÁGUA (2004).</i>	52
<i>Tabela 5.10: Dados cadastrais dos poços de bombeamento - Mina de Fábrica.</i>	55
<i>Tabela 6.1: Nascentes inventariadas por GOLDER (2007) e Água (2004).</i>	64
<i>Tabela 6.2: Intervalos de possíveis valores de condutividade hidráulica e armazenamento.</i>	72
<i>Tabela 7.1: Condições de contorno utilizadas no modelo numérico da mina de Fábrica.</i>	82
<i>Tabela 7.2: Litotipos discretizados no modelo numérico e propriedades hidrodinâmicas obtidas nas calibrações nos regimes permanente e transiente.</i>	85

## ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

<i>Tabela 7.3: Níveis d'água calculados pelo modelo numérico x observados .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 7.4: Resultados Vazões - Calibração em Permanente .....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 7.5: Estatísticas dos erros absolutos obtidos para cada instrumento na calibração em regime transiente .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 7.6: Resultados de vazão obtidos ao final da calibração em transiente .....</i>	<i>105</i>
<i>Tabela 8.1: Resumo da evolução do planejamento de lavra da Mina de Fábrica (2018 a 2048) .....</i>	<i>109</i>
<i>Tabela 8.2: Períodos de tempo da simulação .....</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 8.3: Poços existentes e mantidos na simulação do rebaixamento do nível d'água .....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 8.4: Vazões médias iniciais por área da Mina de Fábrica .....</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 8.5: Número de poços novos inseridos nas simulações por ano e por área .....</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 8.6: Planos de lavra/ano simulado cujos resultados de rebaixamento correspondentes serão apresentados nas imagens a seguir .....</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 8.7: Balanço hídrico – estimativas de recarga, vazões de bombeamento e descargas naturais com base no modelo numérico .....</i>	<i>138</i>
<i>Tabela 9.1: Variações na disponibilidade hídrica dos cursos d'água presentes no entorno da Mina de Fábrica .....</i>	<i>141</i>
<i>Tabela 9.2: Pontos de captação de terceiros localizados dentro dos limites da área modelada .....</i>	<i>146</i>
<i>Tabela 10.1: Sequenciamento de poços novos inseridos nas simulações realizadas .....</i>	<i>150</i>
<i>Tabela 10.2: Instrumentos propostos .....</i>	<i>157</i>
<i>Tabela 10.3: Plano de monitoramento hidrogeológico e hidrológico (variáveis e frequências de monitoramento) .....</i>	<i>159</i>

## LISTA DE FOTOS

<i>Foto 4.1: Cavas Segredo/Ponto 3 e Ponto 2 em 10 de agosto de 2016. ....</i>	<i>17</i>
--	-----------

## ANEXOS

ANEXO I - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

ANEXO II – IMAGENS DO PLANO DE LAVRA UTILIZADO

## 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta uma consolidação de estudos hidrogeológicos elaborados para subsidiar a atualização do pedido de outorga de rebaixamento de nível de água subterrânea para a Mina de Fábrica, englobando as cavas das áreas 8, 9, 9 ½, 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2. Este produto encontra-se especificado no contrato 5900002816 (OS 04/2018) firmado entre a VALE e a MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente Ltda.

As operações de lavra de extração de minério de ferro na área da Mina de Fábrica datam da década de 1930. Inicialmente explorada por W.H. Müller, a concessão passou posteriormente, para a Itaminas. Em 1996, a Ferteco adquiriu os direitos minerários da área, e, a partir de agosto de 2003, a Ferteco foi incorporada pela Companhia Vale do Rio Doce, atualmente denominada VALE, sendo que esta realiza o rebaixamento efetivo do nível d'água subterrânea na área desde 2005.

O primeiro pedido de outorga para rebaixamento do nível d'água na mina de Fábrica foi realizado em 2004. Inicialmente foi solicitada uma vazão de outorga de 500 m<sup>3</sup>/h, sendo o pedido retificado em 2009 para 1000 m<sup>3</sup>/h. Atualmente a mina de Fábrica produz em média 760 m<sup>3</sup>/h (dados referente ao ano 2018) de água subterrânea, somando as produções dos poços instalados nas áreas 9, 9 ½, 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2.

Em estudos realizados em 2016 pela própria MDGEO, para viabilizar o avanço da lavra pelos 5 anos seguintes (até 2020), constatou-se que seria necessário atingir uma vazão de aproximadamente 1670 m<sup>3</sup>/h. Sendo assim, este estudo tem por objetivo fornecer informações complementares e atualizadas sobre o contexto hidrogeológico e operacional da mina de Fábrica, e assim subsidiar a atualização do pedido de outorga que consta no processo antigo.

No presente estudo, foram tratados os dados de pluviometria, vazão nos cursos d'água, níveis de água subterrâneo, e vazões de bombeamento dos poços, disponibilizados pela contratante; além de informações coletadas em estudos hidrogeológicos anteriormente realizados na área de interesse; sendo que a base de dados compilados apresenta informações atualizadas até junho de 2018.



A partir do estudo elaborado pela MDGEO em 2016, o qual contemplou a elaboração de uma modelo numérico de fluxo de água subterrânea, foram realizadas novas simulações numéricas de rebaixamento de nível d'água subterrâneo considerando o plano de lavra licenciado (outubro/2018), sendo obtido um prognóstico quanto ao volume global de água a ser explotado para atendimento da lavra prevista para os anos de 2018 a 2048, e quanto aos possíveis impactos decorrentes do desaguamento.

Todo o conteúdo apresentado neste documento está alinhado com as instruções do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para elaboração do processo de outorga para rebaixamento do nível d'água (código 10), cujos itens e respectivos capítulos nos quais estes encontram-se apresentados são listados a seguir.

- Os itens caracterização e descrição geral do empreendimento; caracterização geológica e estrutural, em escala regional e local, estão apresentados no capítulo 4;
- O item dados interpretados da rede de monitoramento hidrológico e hidrogeológico podem ser consultados no capítulo 5;
- Os itens inventário hidrogeológico da área de influência da mina e modelo hidrogeológico conceitual estão apresentados no capítulo 6;
- O item modelo numérico de fluxo subterrâneo está apresentado no capítulo 7;
- Os itens balanço hídrico; impactos ambientais e interferências quantitativas na disponibilidade hídrica local, previstos por ocasião da atividade de rebaixamento de nível de água; encontram-se apresentado nos capítulos 8 e 9;
- Ainda no capítulo 9 apresenta-se uma análise dos possíveis impactos para os usuários de água outorgados e presentes no entorno do empreendimento;
- E os itens planos de monitoramento hidrológico e hidrogeológico da área de influência da mina; projeto do rebaixamento de nível de água; descrição detalhada das estruturas de captação da água subterrânea que compõem o sistema de rebaixamento; projeto preliminar das atividades de rebaixamento para o horizonte de descomissionamento da mina; plano de uso da água subterrânea proveniente do desaguamento; podem ser consultados no capítulo 10 deste relatório;

## 2 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO

A Mina de Fábrica situa-se a cerca de 10 km a norte da cidade de Congonhas, porção centro-sul do estado de Minas Gerais. Entretanto a área onde está situado o empreendimento pertence ao município de Ouro Preto (MG).

Esta mina está localizada às margens da rodovia BR-040. O acesso se dá a partir de Belo Horizonte, pela BR-040, no sentido Rio de Janeiro. A portaria da mina localiza-se cerca de 65 km de Belo Horizonte. A Figura 2.1 apresenta o mapa de localização da área.

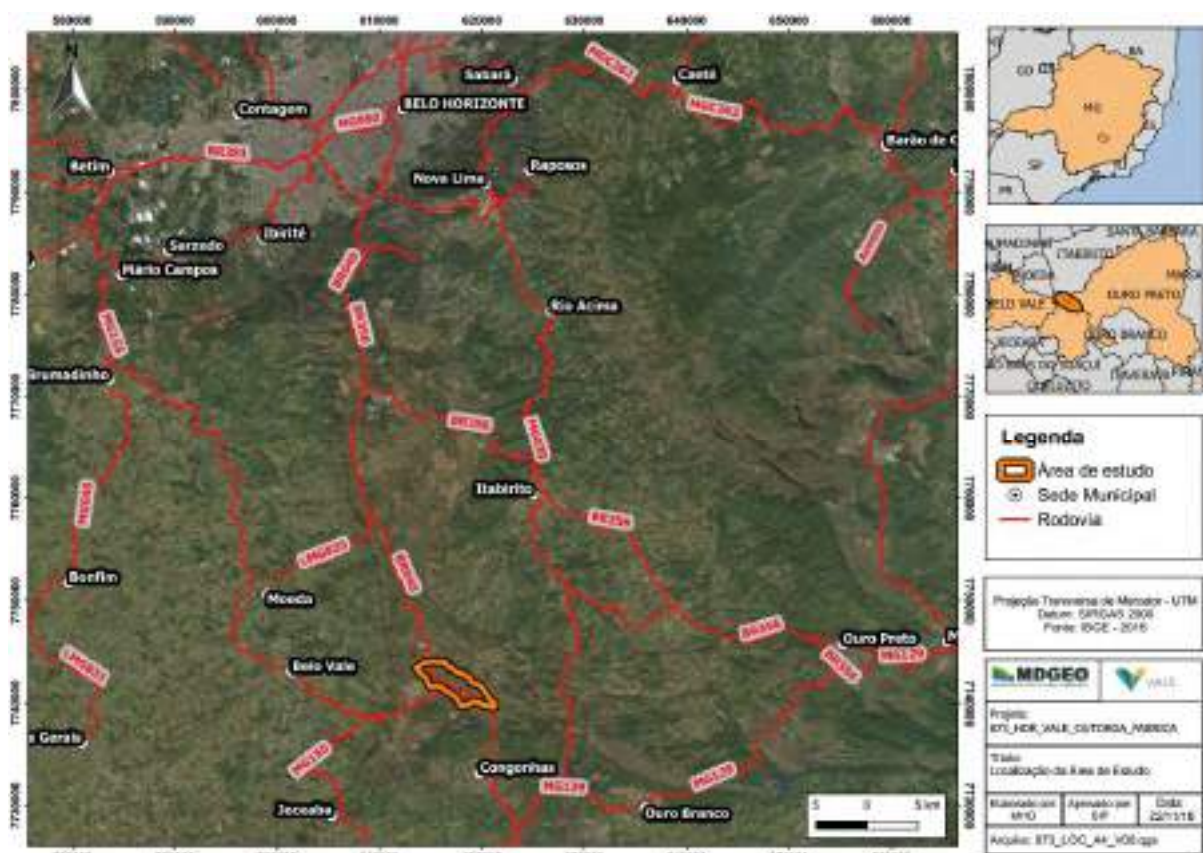


Figura 2.1: Localização da área de estudo.

### 3 ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS ANTERIORES

---

A seguir está apresentada uma síntese de alguns dos estudos hidrogeológicos realizados na área da Mina de Fábrica, e utilizados como fonte de consulta para o presente trabalho. Alguns desses estudos vêm sendo realizados pela MDGEO desde o ano de 1996.

#### **PROJETO DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA - MINA DO PIRES - CAVA PONTO II (MDGEO, 1997)**

A MDGEO realizou entre os anos de 1996 a 1997 um estudo de simulação de fluxo para previsão do rebaixamento do nível d'água na cava Ponto 2, para um período de um ano. Este estudo baseou-se no bombeamento de um poço tubular perfurado no ano de 1996 e no monitoramento de uma rede piezométrica no entorno deste poço. O projeto, elaborado para o Grupo Empresarial Itaminas, permitiu viabilizar a operação de rebaixamento através do *sump*, auxiliado por um poço tubular profundo.

#### **PLANO DE CONTROLE AMBIENTAL DO SISTEMA DE REBAIXAMENTO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DA MINA SEGREDO, PONTOS II E III (ÁGUA, 2004)**

Entre os anos de 2000 a 2004, a empresa Água Consultores Associados Ltda. realizou diversos estudos hidrogeológicos nas Minas Segredo, Ponto 2 e Ponto 3. Neste período estavam sendo iniciados efetivamente os estudos para o rebaixamento do nível d'água nestas cavas, sendo realizados levantamentos hidrogeológicos, projetos de rebaixamento dos níveis d'água e solicitação de outorga do uso da água subterrânea. Este estudo culminou com a elaboração de um "Relatório e Plano de Controle Ambiental do Sistema de Rebaixamento dos Níveis de Água Subterrânea da Mina Segredo, Pontos II e III, Ouro Preto - MG" finalizado em março de 2004.

#### **CADASTRAMENTO DE NASCENTES E DEFINIÇÃO DE MALHA DE MONITORAMENTO DE VAZÃO E QUALIDADE DE ÁGUA NAS MINAS FAZENDÃO, ÁGUA LIMPA E FÁBRICA (GOLDER, 2007)**

No ano de 2004 a empresa GOLDER Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. realizou um cadastramento de nascentes na área do Complexo Fábrica, com seleção de locais para implantação de vertedouros e de coletas hidroquímicas. O foco deste estudo foi a área de lavra da cava João Pereira. Boa parte do entorno das cavas

Segredo, Ponto 2 e Ponto 3, não foram inventariadas. Como existiam outras áreas para levantamento, o trabalho da GOLDER foi finalizado somente em maio de 2007 e apresentado no relatório “Cadastramento de Nascentes e Definição de Malha de Monitoramento de Vazão e Qualidade de Águas nas Minas Fazenda, Água Limpa e Fábrica”.

### **MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL PARA AS CAVAS SEGREDO E ÁREA 10 DA MINA DE FÁBRICA (BRANDT E VOGBR, 2008)**

Em 2008, A BRANDT Meio Ambiente em parceria com a VOGBR Recursos Hídricos e Geotecnia Ltda. realizaram um estudo hidrogeológico no Complexo Fábrica para elaboração de um modelo hidrogeológico computacional da região. Este estudo foi finalizado em junho de 2008 através do relatório “Modelo Hidrogeológico Computacional para as Cavas Segredo e Área 10 da Mina de Fábrica”.

### **MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO DAS CAVAS PONTO 2, PONTO 3 E SEGREDO - ANO BASE 2012 (MDGEO, 2012)**

Em 2012 a MDGEO elaborou o modelo numérico hidrogeológico da Mina de Fábrica, de caráter operacional, abrangendo as cavas Ponto 2, Ponto 3 e Segredo, mas direcionado para o rebaixamento do nível d'água da cava Ponto 2. A partir do modelo calibrado foram feitas simulações simplificadas com vistas a estimar a vazão total necessária para o desaguamento da mina até o ano de 2015. O trabalho foi finalizado em novembro de 2012.

### **MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO - ANO BASE 2014 (HIDROVIA E POTAMOS, 2013)**

No ano de 2013, a empresa POTAMOS Engenharias e Hidrologias Ltda., em parceria com a HIDROVIA Hidrogeologia e Meio Ambiente Ltda., conduziram novos estudos hidrogeológico na área da Mina de Fábrica, contemplando a elaboração de um novo modelo numérico de fluxo de água subterrânea, abrangendo as às cavas Área IX, Área X, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2, cujas características construtivas estão sintetizadas no Capítulo 7 deste relatório, além de simulações de rebaixamento de acordo com a evolução dos planos de lavra da mina disponibilizados pela VALE. O presente estudo consiste, justamente, na atualização deste último modelo numérico elaborado pelas empresas supracitadas.

## **RELATÓRIO DE CADASTRO DE NASCENTES NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ENTORNO DAS UNIDADES OPERACIONAIS MINA DE CAPITÃO DO MATO, ABÓBORAS E FÁBRICA, NOVA LIMA, ITABIRITO E CONGONHAS – MG (MDGEO, 2015)**

No segundo semestre de 2015, a MDGEO foi contratada pela Vale S.A – Operações Ferrosos Sul, para a realização do inventário de pontos d’água na região de Capitão do Mato Norte, Central e Sul (Abóboras), respectivamente localizadas entre os municípios de Nova Lima, Rio Acima e Itabirito – MG e na Mina de Fábrica localizada em Congonhas – MG. O trabalho de inventário de pontos d’água constitui uma etapa preliminar do estudo hidrogeológico de uma área, com o cadastro de surgências de água subterrânea e um cadastro preliminar dos usuários de água na região. No total foram cadastrados 31 pontos durante o trabalho de inventário de pontos d’água na região de Fábrica, sendo: 24 surgências (sendo que 02 nascentes já estavam cadastradas pela CSN); 03 drenagens secas; 04 pontos de controle.

## **ATUALIZAÇÃO DOS MODELOS NUMÉRICOS DE SIMULAÇÃO DE FLUXO – DIFL- RELATÓRIO DO MODELO NUMÉRICO DA MINA DE FÁBRICA (MDGEO, 2017)**

A MDGEO no ano de 2016 elaborou a atualização do modelo numérico de fluxo de água subterrânea da Mina de Fábrica, englobando as áreas Almas, IX, X, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2. A partir do modelo calibrado, foram realizadas simulações de cenários futuros do rebaixamento do nível d’água, visando apresentar prognósticos quanto dimensionamento do sistema de desaguamento para atendimento ao planejamento de lavra previsto para os anos de 2016 a 2020. Além disso foram avaliados os possíveis impactos aos recursos hídricos subterrâneos de área da referida mina decorrentes da evolução das atividades de rebaixamento do nível d’água.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento em questão é composto por diversas áreas de lavra, uma usina de beneficiamento, pilhas de estéril e barragens de rejeito. As áreas de lavra podem ser divididas em duas principais: as cavas da área do Segredo e a cava João Pereira.

Na área do Segredo, foco do presente estudo, são designadas diversas cavas, a saber: Área 8, Área 9, Área 9 ½, Área 10, Segredo e Ponto 3 (incorporadas em uma área conhecida também como Área 15), e Ponto 2 (ou Área 18).

A Figura 4.1 a seguir mostra a localização das cavas supracitadas, sendo que a delimitação mostrada corresponde ao limite aproximado do planejamento de lavra licenciado, o qual foi elaborado com base nos arquivos disponibilizados pela contratante.

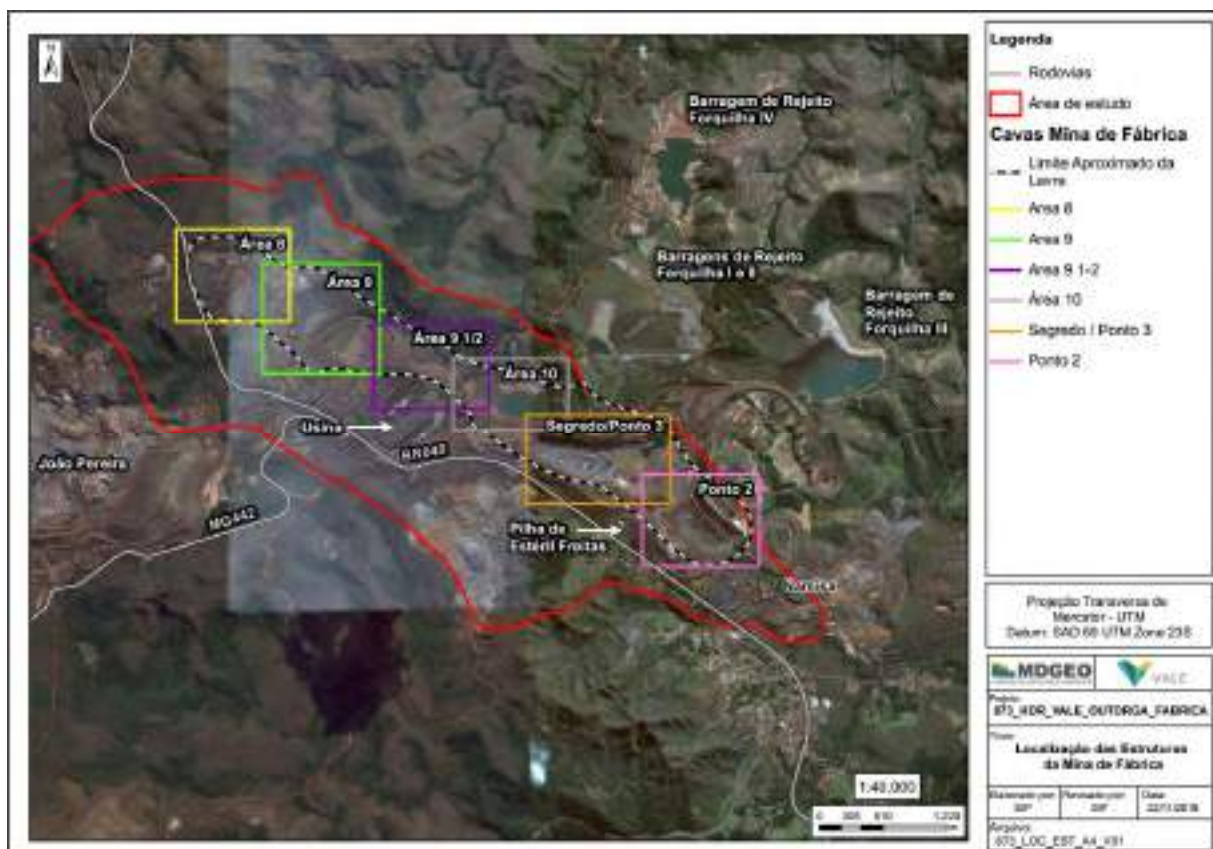


Figura 4.1: Localização das estruturas na área da Mina de Fábrica.

A usina de beneficiamento do minério localiza nas proximidades da Área 9 ½, assim como os escritórios principais e a portaria da mina. Acompanhando lateralmente as cavas de Segredo, Ponto 3 e Ponto 2, existe a Pilha de estéril Freitas.

Na Figura 4.1 é possível verificar também a localização das barragens de rejeito Forquilha I, II e III, ambas posicionadas na porção NE da área em estudo.

A cava de Segredo, propriamente dita, compreende a uma área de lavra posicionada na porção central da mina, com geometria em cava fechada, unindo-se à cava do Ponto 3. A Área 10 separa-se da cava do Segredo por um alto topográfico onde se encontra a ferrovia. Já as áreas 9 ½, 9 e 8 situam-se mais a norte do empreendimento. E a cava Ponto 2 encontra-se na porção sudeste da mina.

Na área 8, posicionada na porção NW da área em estudo, o processo de lavra foi iniciado no ano de 2016, estando o *bottom pit* da cava na cota de 1236 m, segundo o arquivo de topografia mais atualizado (*TP\_GL\_220318.dwg*) disponibilizado pela Vale. Até o momento a cava não atingiu o nível d'água subterrâneo, e não existem poços de bombeamento nessa área.

A cava da Área 9, lavrada pela Ferteco até 2005, encontrava-se na cota 1070 metros no referido ano, sendo o rebaixamento do nível d'água realizado por meio de três poços (PTP-02, 03 e 04), *sump*, e uma galeria alocada na cota 1135 aproximadamente. A partir de 2005, a lavra nesta área foi paralisada, porém os poços continuaram o bombeamento.

Em junho de 2011 foi iniciado o lançamento de rejeito na Área 9. No início da disposição de rejeito, o nível d'água na cava estava na cota 1138 metros, representando uma recuperação natural do nível d'água da ordem de 68 metros, que ocorreu entre 2005 e 2011. Em maio de 2014, após 2 anos e 11 meses de disposição de rejeito, a cota do nível d'água da cava era 1162 metros. Em março de 2016, período de desenvolvimento do estudo mais recente realizado pela MDGEO na área, existia nesta cava uma lâmina de rejeito com cota de 1140 metros (com base na topografia disponibilizada na época - *top\_fab\_020316.dxf*). Atualmente, o rejeito disposto na cava encontra-se na cota de 1170 m (*TP\_GL\_220318.dwg*).

Com relação a galeria supracitada, a mesma consiste em uma estrutura de descarga tanto de água superficial quanto de água subterrânea, sendo que a água drenada era destinada ao dique CB-03. Após o início da operação do poço de

bombeamento PTP-37 a galeria secou. Sobre os três poços supracitados, dois estão inativos, e o poço PTP-03 mantém-se ativo nessa área, registrando vazão de até 80 m<sup>3</sup>/h.

Na área 9 ½, que possui essa denominação por se encontrar entre as áreas 9 e 10, o início da operação da lavra ocorreu entre os anos de 2015 e 2016. Essa cava interceptou o nível d'água na cota 1100 m, aproximadamente, elevação esta mantida até os dias atuais, não sendo observado avanço em profundidade entre os anos de 2016 e 2018. O bombeamento de água subterrânea nessa área começou ao final de 2014 com vazão global inicial da ordem de 32 m<sup>3</sup>/h, e atualmente bombeia-se uma vazão de aproximadamente 250 m<sup>3</sup>/h.

Na Área 10, o rebaixamento do nível d'água ocorrido foi em parte reflexo do rebaixamento da cava Segredo. Seu nível d'água inicial (ano de 2006) estava em torno da cota 1100 metros. No ano de 2012 o fundo desta cava encontrava-se em torno da cota 1085 metros, onde o nível d'água subterrâneo estava aflorando. A partir deste ano iniciou-se o lançamento de rejeito nesta cava, em sua porção noroeste, e em meados de 2013 em sua porção sudeste. O lançamento de rejeito ocorreu até o primeiro trimestre de 2015, e atualmente existe neste local uma lâmina de rejeito em torno da cota 1135 metros. Os dois únicos poços existentes área (PTP-15 e 20) permanecem ativos e bombearam em média 75 m<sup>3</sup>/h no ano corrente.

A VALE iniciou as atividades de lavra, na área de Segredo ao final de 2005. O rebaixamento do nível d'água ocorreu essencialmente na cava Segredo, Ponto 3 e Ponto 2. Inicialmente as operações de desaguamento concentraram-se nas cavas Segredo e Ponto 3, onde ocorreu um rebaixamento da ordem de 30 metros, passando da cota em torno de 1110 metros para 1080 metros. Posteriormente o foco do rebaixamento passou para a cava Ponto 2.

Com a interrupção do aprofundamento da cava Segredo e Ponto 3 formou-se um *sump* na cava Ponto 3, desde o período chuvoso de 2009/2010. Isso ocorreu em parte devido à construção do aterro da ferrovia que passa atualmente nesse local, o qual barra o volume de água pluvial que descia em direção ao Ponto 2. A taxa de bombeamento deste lago não é suficiente para esgotar sua água, mantendo-se com água ao longo de todo o ano (Foto 4.1).





Foto 4.1: Cavas Segredo/Ponto 3 e Ponto 2 em 10 de agosto de 2016.

Ao longo das operações de rebaixamento de Segredo e Ponto 3 foram construídos 13 poços de bombeamento, dentre os quais apenas 8 encontram-se ativos e operantes. Estes bombearam em conjunto uma vazão média da ordem 360 m<sup>3</sup>/h entre janeiro e agosto de 2018.

As operações de rebaixamento do nível d'água na cava Ponto 2, situada no limite SE da área (na divisa com a mineração NAMISA), foram iniciadas já em 1995, pelo Grupo empresarial Itaminas, que operavam apenas com um poço de bombeamento através do “*sump*” (MDGEO, 1997).

Com a área sendo operada pela Vale, esta cava foi o principal local de lavra e foco do rebaixamento do nível d'água subterrâneo até 2012. Após o referido ano não houve avanço em profundidade. É a cava que possui cota de fundo mais profunda, em torno da cota 976 metros (março/2018), cota na qual a água aflora (vide Foto 4.1). O nível d'água inicial encontrava-se em torno da cota 1040 metros, o que aponta um rebaixamento superior a 60 metros. Os poços ativos atualmente nessa cava bombeiam em conjunto uma vazão média da ordem 50 m<sup>3</sup>/h.

No capítulo 5, item 5.4, o histórico dos valores bombeamento de água subterrânea registrados nas áreas de lavra da mina de Fábrica encontram-se apresentados de forma detalhada.

## 4.2 CONTEXTO HIDROGRÁFICO

A região em estudo está inserida dentro da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. O Complexo das minas de Fábrica situa-se em um importante divisor de sub-bacias hidrográficas, sendo que as drenagens que vertem para direção norte pertencem a sub-bacia do Rio das Velhas, enquanto as drenagens que vertem para sul pertencem a sub-bacia do Rio Paraopeba.

Esse divisor separa as áreas Segredo e 10, conforme demonstra a Figura 4.2. Desta forma tanto a Área 10 como as Áreas 9, 9 ½, 8 pertencem a sub-bacia do Rio das Velhas, enquanto as cavas de Segredo, Ponto 3 e Ponto 2, pertencem a sub-bacia do Rio Paraopeba.

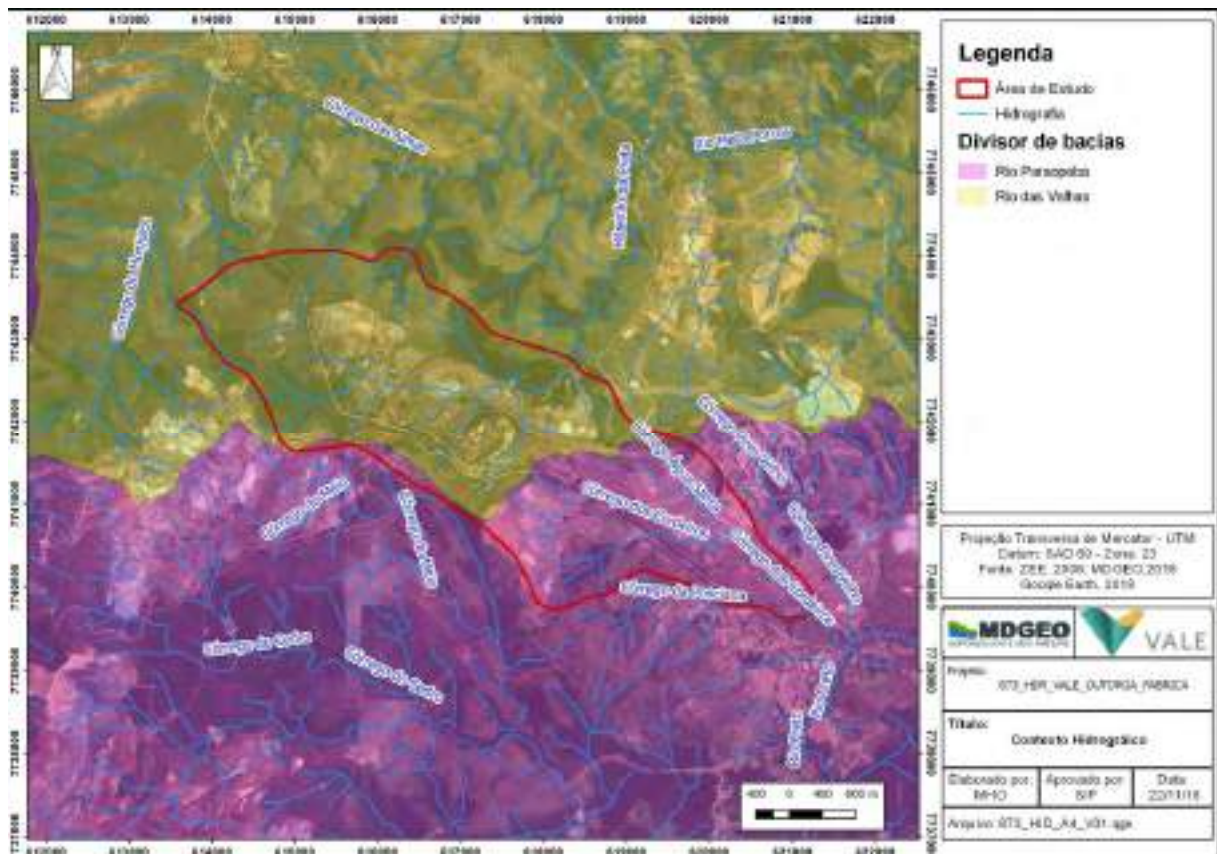
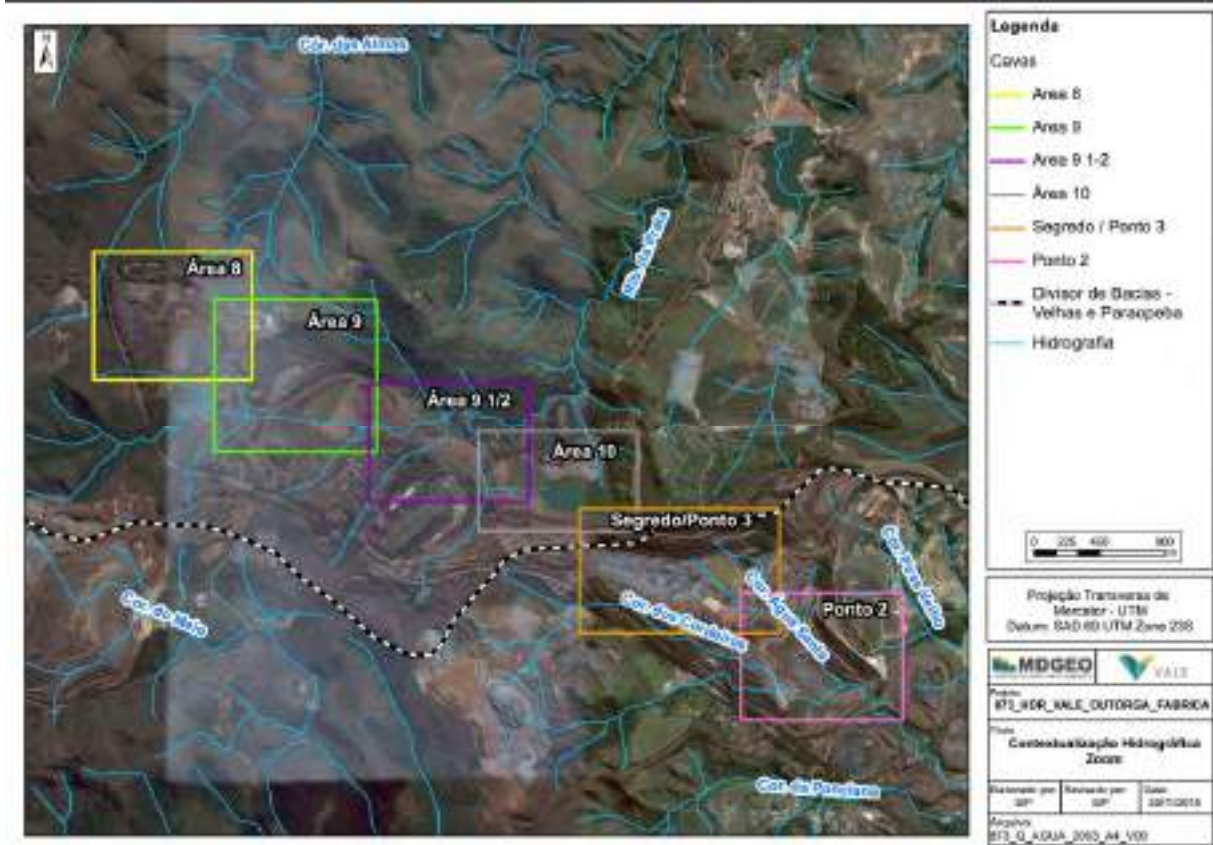


Figura 4.2: Contexto hidrográfico da área de estudo.

Um zoom na área das cavas é apresentado na Figura 4.3. Nesta observa-se que, as Áreas 9, 9 ½ e 10 situam-se na cabeceira do Ribeirão da Prata, e a Área 8, na cabeceira do Córrego das Almas, sendo que ambos desaguam no Rio Mata Porcos. Este por sua vez desagua no Rio Itabira a cerca de 14 km em linha reta à NE da área. O Rio Itabira é afluente do Rio das Velhas.



**Figura 4.3: Contexto hidrográfico da área de estudo - zoom na área das cavas.**

Já as cavas de Segredo, Ponto 3 e Ponto 2 situam-se na área de drenagem do Córrego Água Santa, que desagua no Rio Preto. Este curso d'água deságua no Rio Maranhão, que por sua vez deságua no Rio Paraopeba a cerca de 15 km em linha reta à SW da área.

Em ambas as figuras são apresentadas as drenagens originais da região. Desta forma, verifica-se que a cava do Ponto 3 e Ponto 2 foram abertas sobre o leito original do Córrego Água Santa, e a pilha de estéril Freitas está sotoposta ao Córrego dos Cordeiros.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E ESTRUTURAL

#### 4.3.1 Geologia Regional

A região em estudo encontra-se inserida dentro da província mineral do Quadrilátero Ferrífero, que compreende no alinhamento de várias serras mineralizadas em ferro, que formam a figura aproximada de um quadrilátero com cerca de 7.000 km<sup>2</sup>.

O Quadrilátero Ferrífero exhibe a arquitetura típica de “domos e quilhas”, na qual domos de um complexo de rochas cristalinas arqueanas são circundados por depressões sinformais de rochas metassedimentares pré-cambrianas. Estas estruturas sinclinais possuem grande extensão e suas abas erodidas formam as serras alinhadas (quilhas) do Quadrilátero Ferrífero.

A área de estudo encontra-se numa região de elevada complexidade geológico-estrutural, compreendendo a junção do Sinclinal Dom Bosco com o Sinclinal da Moeda, no extremo sudoeste do Quadrilátero Ferrífero Figura 4.4.

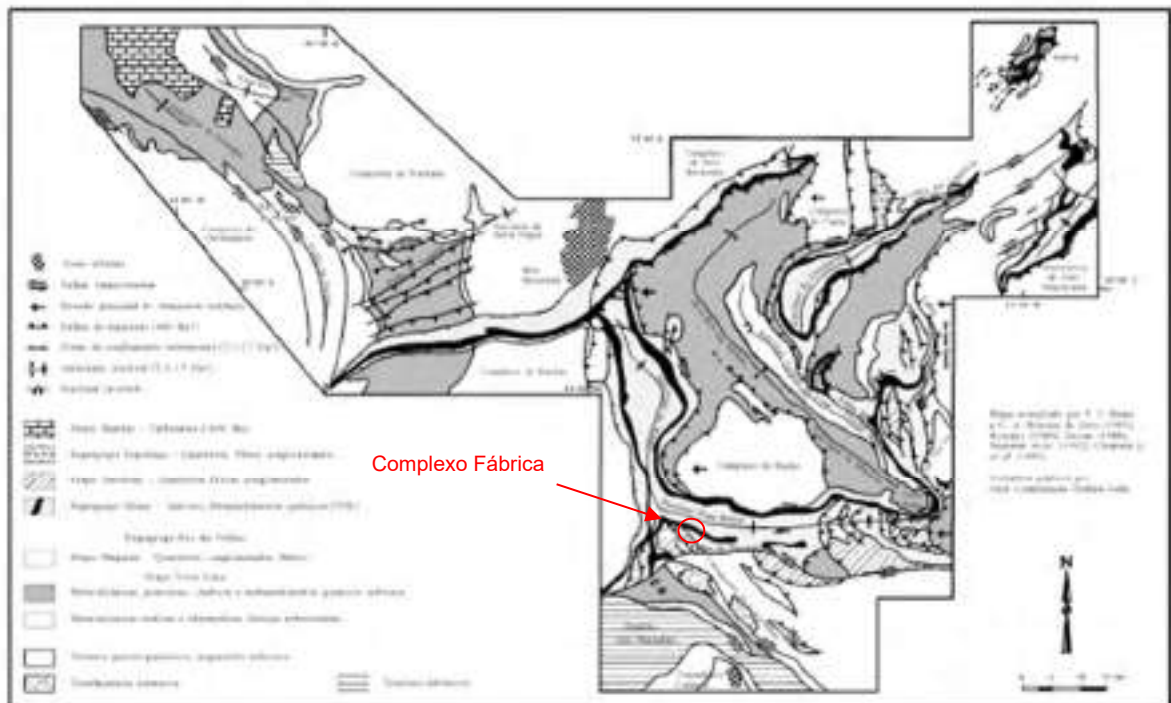


Figura 4.4: Contexto geológico da área da Mina de Fábrica.

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero apresenta algumas interpretações diferentes conforme o autor considerado. A Figura 4.5 apresenta a coluna estratigráfica para a região extraída de Hübener (2009).

ERA / PERÍODO	SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOTIPOS	AMBIENTE SEDIMENTAR	ESPESSURA MÁXIMA	IDADE (Ma)	
QUATERNÁRIO	Canga							
EVENTO SUL-ATLÂNTIANO								
TERCIÁRIO		Fonseca	Sedimentos lacustrinos e linhito			100	5,4	
DISCORDÂNCIA EROSIVA E ANGULAR								
OROGÊNESE BRASILIANA (650 a 560Ma)								
LACUNA DE TEMPO E 1.250Ma								
PALEOPROTEROZOÍCO	OROGÊNESE TRANSAMAZÔNICA (2.250 a 1.900Ma)							
		ITACOLOMI		Quartzito, metaconglomerado e raramente Filito		Molassa ?	2.000	
	OROGÊNESE TRANSAMAZÔNICA (2.250 a 1.900Ma) e intrusões de granitóides							
		SABARÁ	EstradaReal	Metarenito, metaconglomerado, metadiamiccito e quartzito		Continental	200 - 750	
			Saramenha	Clorita xisto, filito, quartzito, metadiamiccito, itabirito, metagrauvaca e metaconglomerado		Flysh	>985	2.650 (U/Pb)
	DISCORDÂNCIA EROSIVA LOCAL							
		PIRACICABA	Barreiro	Filito e filito carbonático		Plataforma	150	
			Taboões	Ortoquartzito			125	
			Fecho do Funil	Filito, filito dolomítico, mármore edolomito			410	
			Cercadinho	Quartzito Ferruginoso, quartzito, filito prateado, Filito ferruginoso, dolomito e metaconglomerado			600	
	DISCORDÂNCIA EROSIVA LOCAL							
		ITABIRA	Gandarela	Dolomito, mármore, itabirito dolomítico, filito dolomítico		Plataforma	600	2.450 (Pb/Pb)
			Cauê	Itabirito (fácies óxido), itabirito dolomítico, hematitito, filito dolomítico e dolosito			350	1.830 (Pb/Pb)
		CARAÇA	Batatal	Filito		Plataforma	250	
			Moeda	Quartzito, metaconglomerado, filito			1.000	2.608 (Pb/Pb)
DISCORDÂNCIA EROSIVA LOCAL								
	TAMANDUÁ	Morro Grande	Sericita-clorita xisto com intercalações de filito ferruginoso, clorita xisto, quartzo-sericita xisto e filito coloração cinza		Plataforma			
		Cambotas	Quartzito com camadas de conglomerado com seixos de formação ferrífera e lentes de formação ferrífera no topo					
DISCORDÂNCIA EROSIVA E ANGULAR								
ARQUEANO	OROGÊNESE RIO DAS VELHAS (2.800 a 2650 Ma) e intrusões de granitóides							
	RIO DAS VELHAS	MAQUINÉ	Casa Forte	Quartzito, metaconglomerado e filito		Molassa	>400	
			Palmital	Filito, quartzo xisto e metaconglomerado			1.400	
		NOVA LIMA	Indiviso	Quartzo xisto, quartzito, metagrauvacas, metaconglomerados, xistos carbonáticos, metatufos, formações ferríferas, filitos, metabasálts, metakomatiitos, serpentinitos e talco xistos			3.700	2.772 a 2.780 (U/Pb)
	DISCORDÂNCIA EROSIVA							
	EMBASAMENTO			Gnaiss migmatítico			> 2.900	

Figura 4.5: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Hübener (2009).

Geologicamente, o ambiente regional é caracterizado por um embasamento granito-gnáissico-migmatítico, sobreposto pelo Supergrupo Rio das Velhas, representado por rochas meta-vulcanosedimentares do tipo *greenstone belt*. Sobre esta sequência ocorrem metassedimentos plataformais do Supergrupo Minas, subdividido nos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará, subadjacente a uma sequência de rochas fanerozóicas. Estas últimas escassas e representadas por intrusões básicas, depósitos terciários, coberturas lateríticas e depósitos aluviais.

O Supergrupo Rio das Velhas subdivide-se nos grupos Nova Lima (base) e Maquiné (topo). Esse último é composto pelas formações Palmital (quartzitos sericíticos, filitos quartzosos e filitos) e Casa Forte (quartzitos sericíticos, cloríticos a xistosos, filitos e conglomerados). O Grupo Nova Lima, representativo dos *greenstone belts*, corresponde a metassedimentos com ampla distribuição no entorno do Sinclinal Gandarela. Divide-se em três unidades (metavulcânica, metassedimentar química e metassedimentar clástica) compostas por micaxistos intercalados com formações ferríferas, grauvacas, quartzitos, conglomerados, rochas metavulcânicas e filitos grafitosos.

As rochas pertencentes ao Supergrupo Minas podem ser caracterizadas como metassedimentos clásticos e químicos de idade proterozóica, repousando em discordância angular e erosiva sobre o Supergrupo Rio das Velhas. Subdivide-se em Grupo Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará

O Grupo Caraça é constituído basicamente por sedimentos clásticos. Na base ocorre a Formação Moeda, representada por conglomerados e quartzitos compactos de granulação média a grossa, de origem fluvial e filitos de origem transicional-marinha, de coloração branca esverdeada. Nestes conglomerados já foram explorados ouro e urânio associados a sulfetos.

A Formação Batatal, topo do Grupo Caraça, é constituída por uma sequência de filitos sericíticos, grafitosos, de coloração cinza esverdeada, quando frescos, a amarelo-claro quando alterados. Localmente esta formação pode apresentar clorita e sedimentos carbonáticos, sendo que na parte superior pode ser visto finas camadas de chert e hematita. O contato entre as formações Moeda e Batatal é transicional, com intercalações de filito entre os quartzitos e quartzo-filitos.

O Grupo Itabira recobre concordantemente o Grupo Caraça e é subdividido nas formações Cauê e Gandarela, base e topo respectivamente. A Formação Cauê é representada por itabiritos, itabiritos dolomíticos e anfibolíticos com pequenas lentes de filitos e alguns corpos de hematita friável. Seu contato com a Formação Gandarela é gradacional.

A Formação Gandarela consiste em um grande depósito de rochas carbonáticas representadas principalmente por dolomitos e subordinadamente por itabiritos, filitos dolomíticos e filitos, com lentes esparsas de hematita compacta. Seu contato com o próximo grupo é de natureza discordante, com caráter erosivo.

O Grupo Piracicaba é subdividido em cinco formações, da base para o topo: Cercadinho, composta por quartzitos puros e ferruginosos e filitos ferruginosos, prateados e dolomíticos; Fecho do Funil, representada por filitos, filitos dolomíticos, argilosos, silicosos e dolomitos impuros; Taboões caracterizada pela presença de metachert; e Barreiro, predominantemente composta por xistos de colorações variadas e filitos grafitosos. Esta última formação ocorre ao longo da Serra do Curral, no Sinclinal Moeda e no extremo leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (Sinclinal Dom Bosco, Anticlinal Mariana e ao sul da serra do Caraça).

O Grupo Sabará, anteriormente considerado uma formação do Grupo Piracicaba, consiste em uma sequência metavulcanosedimentar. Representa a unidade paleoproterozóica do Quadrilátero Ferrífero, sendo composta por sedimentação essencialmente terrígena. Além da Serra do Curral, as rochas do Grupo Sabará se distribuem na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, no Sinclinal Dom Bosco e no Sinclinal Gandarela.

#### **4.3.2 Geologia Local**

Localmente, a mineralização ferrífera do Complexo Fábrica encontra-se alojada nas rochas metassedimentares da Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas, conforme ilustrado no mapa da Figura 4.6 a seguir.

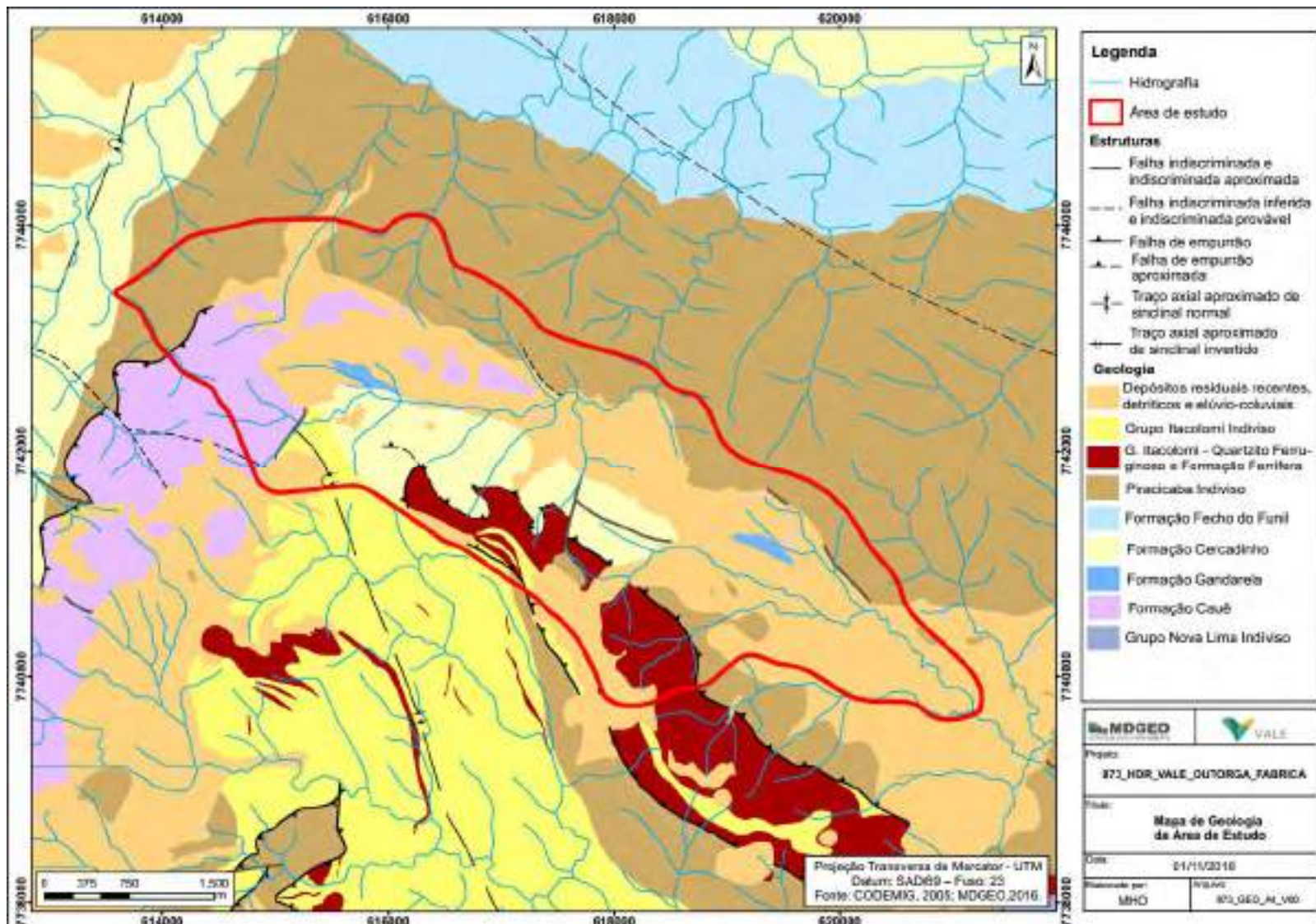


Figura 4.6: Mapa geológico estrutural da área da Mina de Fábrica. Fonte: Compilado de CODEMIG (LOBATO, et al., 2005).



Segundo a figura anterior quase toda a região da cava Segredo encontram-se mapeadas como coberturas cenozóicas (laterita e detrito ferruginoso não cimentado). Alguns afloramentos da formação ferrífera Cauê são mapeados, principalmente próximos às Área 9 e 8, existindo também corpos de hematita.

Devido a essa cobertura laterítica, torna-se difícil através deste mapa de definir a geometria da camada de formação ferrífera existente. Admite-se uma espessura aparente em torno de 300 metros na cada da Área 15, engrossando para cerca de 500 metros na Área 9. A camada de formação ferrífera na área das cavas Área 15 apresenta uma direção NW-SE com mergulho para NE. Não é possível definir a continuidade desta camada para SE.

Interessante notar que a camada de formação ferrífera se encontra de maneira geral encaixada nas rochas do Grupo Piracicaba, tanto no contato de lapa como de capa. Na região compreendida entre as cavas Almas e Área 10, o Grupo Piracicaba é distinguido como Formação Cercadinho no contato de lapa. Nas demais regiões o Grupo Piracicaba é mapeado como indiviso.

Destacam-se também algumas lentes do dolomito da Formação Gandarela no contato de lapa da formação ferrífera.

A camada de formação ferrífera da área das cavas Segredo possui uma continuidade na direção NW, onde se inflete alterando a direção de sua camada de NW-SE para NE-SW. Esta inflexão faz com que a formação ferrífera apresente uma geometria em planta na forma de bumerangue, onde no lado leste do bumerangue estão as cavas compreendidas entre as Áreas 8 e Área 18 e no lado oeste a cava João Pereira.

A porção central do bumerangue é preenchida principalmente pelos quartzitos e quartzitos ferruginosos do Grupo Itacolomi.

A definição das unidades litoestratigráficas encaixantes da formação ferrífera nesta região apresenta algumas controvérsias. Outro mapeamento geológico da área, realizado por Endo (2003) apresenta a formação ferrífera envolta pelo Grupo Sabará tanto na lapa como na capa, formando a denominada “Nappe da Fábrica” conforme demonstrado pela Figura 4.7. O mapa geológico de Endo (2003) teve como área principal a região do Pico do Engenho, não abrangendo toda a região das minas do Complexo de Fábrica.



**Figura 4.7: Perfil geológico da área de Fábrica conforme Endo (2003)**

De acordo com o modelo geológico de blocos disponibilizado pela VALE (seg\_0911\_lito.csv - de setembro de 2011), a Formação Cauê no contexto da Mina de Fábrica é caracterizada por diferentes litotipos listados na Tabela 4.1 a seguir.

**Tabela 4.1: Litotipos associados à Formação Cauê na área de estudos**

	Sigla	Litotipo
<b>Hematita</b>	HAR	Hematita argilosa
	HC	Hematita compacta
	HF	Hematita friável
	HMN	Hematita manganesífera
<b>Itabirito</b>	IAR	Itabirito argiloso
	IC	Itabirito compacto
	IDO	Itabirito dolomítico
	IF	Itabirito friável
	IFR	Itabirito friável rico
	IMN	Itabirito manganesífero

**Fonte: Modelo geológico de blocos disponibilizado pela VALE (seg\_0911\_lito.csv - de setembro de 2011).**

Em 2011 a empresa BVP Engenharia realizou o mapeamento litoestrutural e geomecânico em escala de detalhe (1:2.000) da mina de Segredo, nas cavas Área 10, Segredo, Ponto 03 e Ponto 02. As áreas 8, 9 e 9 ½ não foram contempladas no mapeamento.

Apresenta-se a seguir (Figura 4.8) o resultado do referido mapeamento, onde se pode observar a distribuição das formações ferríferas, das encaixantes, das coberturas recentes, e das estruturas identificadas na área da mina respeitando a nomenclatura adotada para as áreas no projeto da BVP Engenharia (2011).

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

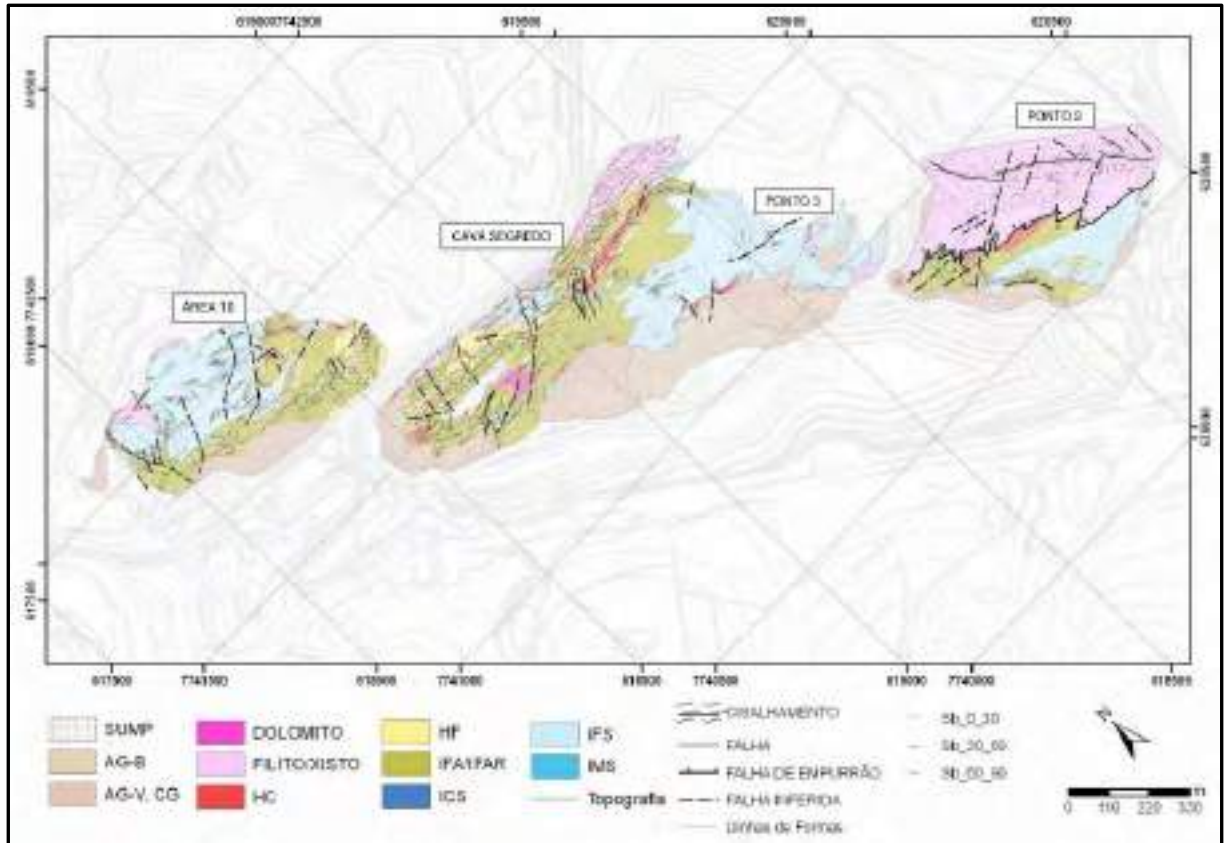


Figura 4.8: Mapa Litoestrutural da mina de Segredo. Fonte: BVP Engenharia, 2011.

## 5 DADOS DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Neste capítulo serão apresentadas a compilação e o tratamento dos dados de monitoramento hidrológico e hidrogeológico realizado pela contratante na área de estudo, contemplando informações atualizadas de pluviometria (1974 a 2018), nível d'água subterrâneo (2005 a 2018), vazões em cursos d'água (2005 a 2018) e vazões do desaguamento da Mina de Fábrica (2005 a 2018).

A Tabela 5.1 a seguir aponta um resumo das características da rede de monitoramento instalada na área em estudo.

**Tabela 5.1: Pontos que compõem a rede de monitoramento da Mina de Fábrica (Áreas 8, 9, 9 ½, 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2)**

Instrumentos	Total Cadastrado	Ativo em jun-2018	Periodicidade do monitoramento	Período monitorado (dados compilados)
Pluviômetro	1	1	diária	jan-1974 a jun-2018
Indicadores de Nível d'água (INAs)	39	13	mensal	fev-2008 a jun-2018
Piezômetros (PZs)	70	19	mensal	abr-2005 a jun-2018
Pontos de Medição de Vazão	52	34	semanal	mai-2006 a jun-2018
Poços de bombeamento	33	22	mensal	nov-2005 a jun-2018

### 5.1 PLUVIOMETRIA

Na área de estudo a precipitação é monitorada desde janeiro de 1974 e possui dados até junho de 2018. Os dados disponibilizados referentes ao período de 1974 a 2005 correspondem ao histórico de valores mensais de precipitação registrados pelo pluviômetro FAB\_PLV-74a05, instalado na Mina de Fábrica e da CSN. A partir do ano de 2006 os dados passaram a ser coletados pelo pluviômetro FAB\_PLV-01, instalado na Mina de Fábrica, coordenadas UTM 617620, 7741820 (Figura 5.1).

Com base nos dados disponibilizados, entre 2006 e 2018, de uma forma geral, o monitoramento da pluviometria ocorre diariamente, exceto aos fins de semana. Em meses específicos observam-se além de algumas lacunas, diferentes frequências de monitoramento.

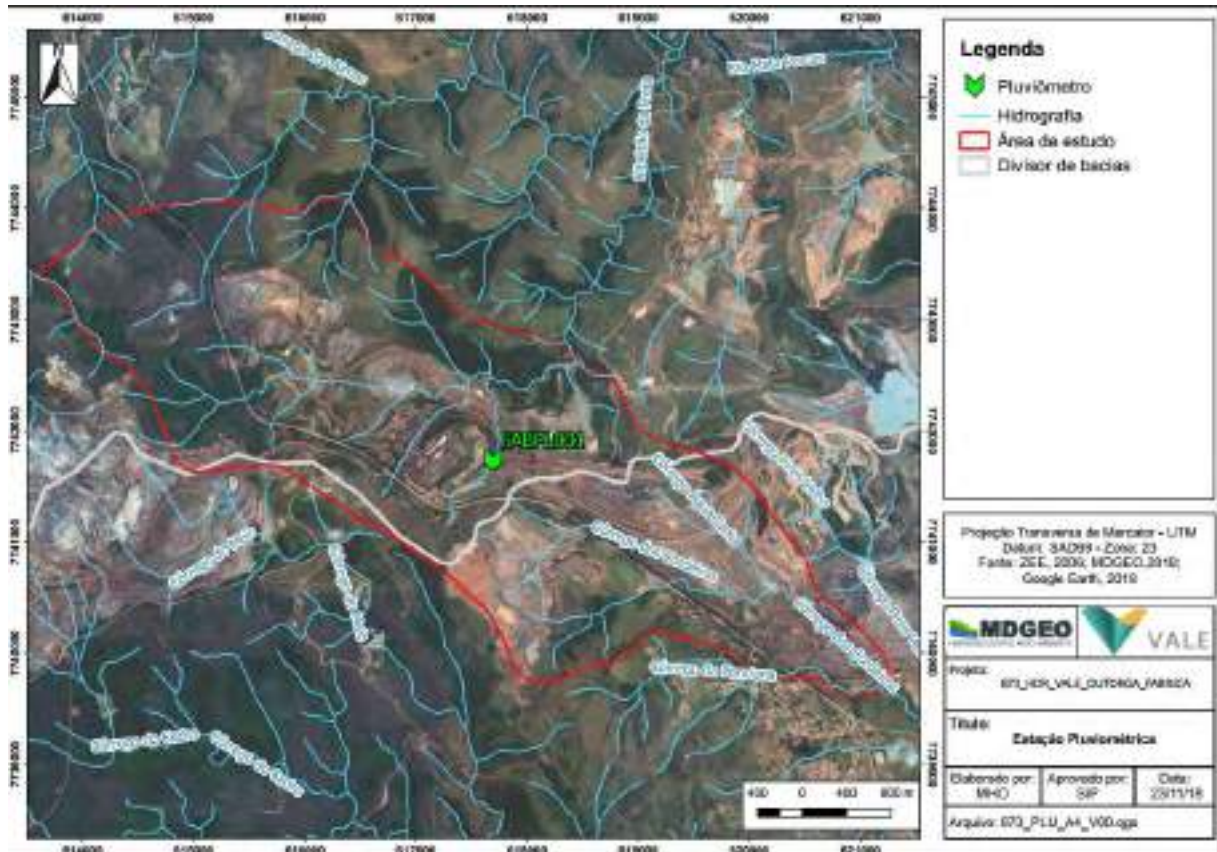


Figura 5.1: Localização do pluviômetro instalado no Complexo de Fábrica.

A Tabela 5.2 apresenta dados de precipitação mensal, e os cálculos das mínimas, média se máximas mensais com base no histórico de registros existente. Entende-se que o ano hidrogeológico na região se divide em período seco, entre os meses de outubro a março, e período chuvoso, entre abril e setembro.

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**
**Tabela 5.2: Precipitação mensal e estatísticas - Mina de Fábrica (1974 a 2018)**

Ano Hidrológico	Precipitação (mm) - Pluviômetro PLV-01 - FAB - Banco de Dados GEOTEC												Total Per. Chuvoso (out - mar)	Total Per. Seco (abr - set)	Total Ano Hidrológico
	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET			
1973/1974*	-	-	-	252.0	124.0	338.0	84.0	4.0	27.0	0.0	1.0	69.0	714	185	899
1974/1975	116.0	25.0	327.0	355.0	216.0	44.0	46.0	36.0	34.0	15.0	0.0	58.0	1083	189	1272
1975/1976	120.0	283.0	139.0	154.0	101.0	151.0	29.0	13.0	11.0	60.0	52.0	145.0	948	310	1258
1976/1977	200.0	194.0	326.0	452.0	19.0	260.0	80.0	10.0	11.0	0.0	6.0	75.0	1451	182	1633
1977/1978	74.0	190.0	223.0	260.0	179.0	84.0	81.0	124.0	6.0	47.0	31.0	24.0	1010	313	1323
1978/1979	156.0	254.0	588.0	565.0	418.0	136.0	42.0	35.0	0.0	24.0	34.0	59.0	2117	194	2311
1979/1980	57.0	208.0	348.0	235.0	99.0	45.0	153.0	27.0	29.0	4.0	8.0	22.0	992	243	1235
1980/1981	49.0	307.0	497.0	285.0	67.0	184.0	48.0	42.0	38.0	66.4	41.0	41.0	1389	276	1665
1981/1982	230.0	294.0	235.0	262.0	99.0	296.0	30.0	0.0	8.0	10.0	0.0	9.0	1416	57	1473
1982/1983	244.0	241.0	60.0	521.0	186.0	216.0	83.0	93.0	25.0	34.0	0.0	205.0	1468	440	1908
1983/1984	220.0	190.0	242.0	136.0	13.0	25.0	70.0	0.0	0.0	4.0	68.0	83.0	826	225	1051
1984/1985	80.0	238.0	316.0	443.0	172.0	210.0	40.0	48.0	0.0	0.0	3.0	101.0	1459	192	1651
1985/1986	130.0	212.0	288.0	367.0	206.0	143.0	31.0	51.0	2.0	32.0	67.0	2.0	1346	185	1531
1986/1987	30.0	212.0	512.0	116.0	125.0	307.0	98.0	101.0	7.0	0.0	0.0	48.0	1302	254	1556
1987/1988	140.0	141.0	433.0	189.0	333.0	139.0	55.0	51.0	77.0	0.0	0.0	75.0	1375	258	1633
1988/1989	105.0	159.0	173.0	158.0	358.0	183.0	33.0	8.0	67.0	50.0	26.0	88.0	1136	272	1408
1989/1990	129.0	299.0	316.0	94.0	210.9	306.4	31.2	81.7	0.0	43.3	57.5	37.5	1355	251	1607
1990/1991	155.5	214.0	225.9	552.7	186.2	322.3	123.1	6.7	0.0	0.0	0.0	63.3	1657	193	1850
1991/1992	139.7	298.2	221.3	576.6	154.0	52.1	73.5	17.3	0.0	0.0	17.2	119.2	1442	227	1669
1992/1993	79.6	263.7	229.0	238.0	220.5	232.4	177.1	2.2	43.8	0.0	7.7	157.7	1263	389	1652
1993/1994	114.3	180.0	255.6	353.8	104.2	271.9	87.5	39.6	7.9	0.0	0.0	0.0	1280	135	1415
1994/1995	96.8	118.4	368.8	109.0	122.8	95.3	28.4	12.8	0.0	0.0	0.0	19.0	911	60	971
1995/1996	310.0	203.0	301.0	405.7	163.4	19.0	109.5	32.5	0.0	0.0	7.2	86.1	1402	235	1637
1996/1997	113.4	398.2	365.6	405.7	138.2	198.4	101.9	14.9	0.0	6.5	0.0	74.6	1620	198	1817
1997/1998	137.9	151.9	237.8	350.0	191.0	115.0	17.0	238.0	0.0	0.0	49.0	62.0	1184	366	1550
1998/1999	143.0	157.0	133.0	168.6	196.0	322.7	20.3	7.8	6.6	18.5	0.0	83.8	1120	137	1257
1999/2000	124.4	356.9	242.6	414.0	265.6	170.2	37.3	0.0	0.0	0.0	35.1	98.0	1574	170	1744
2000/2001	109.4	70.6	86.2	230.0	105.8	187.2	30.0	37.5	0.0	6.0	49.3	49.9	789	173	962
2001/2002	117.9	411.2	397.1	295.7	343.1	90.5	15.0	34.0	18.9	13.3	8.2	108.5	1656	198	1853
2002/2003	23.5	124.9	298.9	461.2	53.7	209.4	41.2	28.9	41.0	1.0	23.6	72.8	1172	209	1380
2003/2004	123.4	247.1	400.8	375.2	307.4	131.0	145.1	5.3	20.5	44.0	0.0	0.0	1585	215	1800
2004/2005	102.0	183.0	394.0	434.5	203.0	353.5	67.5	91.0	15.0	17.5	44.0	106.0	1670	341	2011
2005/2006*	84.0	279.0	378.0	230.5	85.8	242.6	41.2	18.3	12.9	-	29.1	72.4	1300	174	1474
2006/2007*	145.1	199.3	355.6	359.9	86.1	51.9	230.8	22.8	1.9	8.8	-	-	1198	264	1462
2007/2008*	151.8	134.6	252.8	297.6	238.5	269.9	141.2	2.6	28.0	-	-	-	1345	172	1517
2008/2009	0.0	288.8	546.4	480.5	290.6	215.4	91.6	19.7	32.8	17.4	60.7	178.4	1822	401	2222
2009/2010	200.0	159.1	366.8	243.8	65.4	253.7	54.9	41.2	1.2	2.0	0.0	25.6	1289	125	1414
2010/2011	131.2	287.5	303.2	150.2	81.6	56.7	52.3	2.8	18.0	0.0	2.0	2.1	1010	77	1088
2011/2012*	174.4	193.6	387.9	310.8	-	131.3	56.8	58.0	20.4	0.0	0.1	9.5	1198	145	1343
2012/2013	35.4	249.8	116.6	443.8	142.0	140.3	96.7	41.0	51.7	0.4	10.3	46.9	1128	247	1375
2013/2014	100.3	103.0	255.4	159.7	37.4	138.5	150.6	33.4	4.6	0.0	22.3	0.0	794	211	1005
2014/2015	55.3	306.3	220.1	179.2	255.6	341.1	34.0	48.8	7.2	12.1	0.0	74.5	1358	177	1534
2015/2016	144.5	231.6	156.0	388.4	123.4	243.5	26.8	22.7	50.4	0.0	18.1	115.5	1287	234	1521
2016/2017	78.2	397.8	346.2	223.7	120.7	110.2	15.7	8.4	29.2	0.0	0.0	24.5	1277	78	1355
2017/2018*	123.9	203.1	245.7	235.2	160.1	135.1	6.4	22.9	0.5	-	-	-	1103	30	1132

1974 a 2005 – Dados FABPL002: histórico que utiliza dados do pluviômetro de Fábrica e da CSN (jun-2004 e dez-2005)

2006 a 2018 – Dados FABPL001 – pluviômetro de Fábrica PLV-01 - FAB

\* ano hidrológico incompleto

Valor corrigido

- sem dados

<b>Mínimas</b>	0	25	60	94	13	19	6	0	0	0	0	0	789	57	962
<b>Médias</b>	123	224	298	309	167	182	69	36	17	13	19	66	1300	219	1524
<b>Máximas</b>	310	411	588	577	418	354	231	238	77	66	68	205	2117	440	2311
<b>Desvio Padrão</b>	61	84	117	132	94	95	49	42	19	19	22	49	277	88	313

A Figura 5.2 apresenta o gráfico com as médias, máximas e mínimas precipitações mensais. Nota-se que a chuva se concentra entre outubro e março, com picos nos meses de dezembro e janeiro, e os meses de junho a agosto são os mais secos. A precipitação anual é apresentada pela Figura 5.3, diferenciando a contribuição do período chuvoso (outubro a março) e do período seco (abril a setembro), e comparando o total anual com a média plurianual da série.

A média plurianual da precipitação da série apresentada, considerando o ano hidrológico, é de 1524 mm/ano. A média para o período chuvoso é de 1300 mm/ano que corresponde a aproximadamente 85% de toda precipitação anual, e a média do período seco é de 219 mm/ano.

Nota-se que o ano hidrológico de 1978/1979, apresentou o máximo de precipitação acumulada no período de observação, totalizando 2311 mm, e o ano mais seco, com base nos registros, foi o de 2000/2001, com total acumulado de 962 mm.

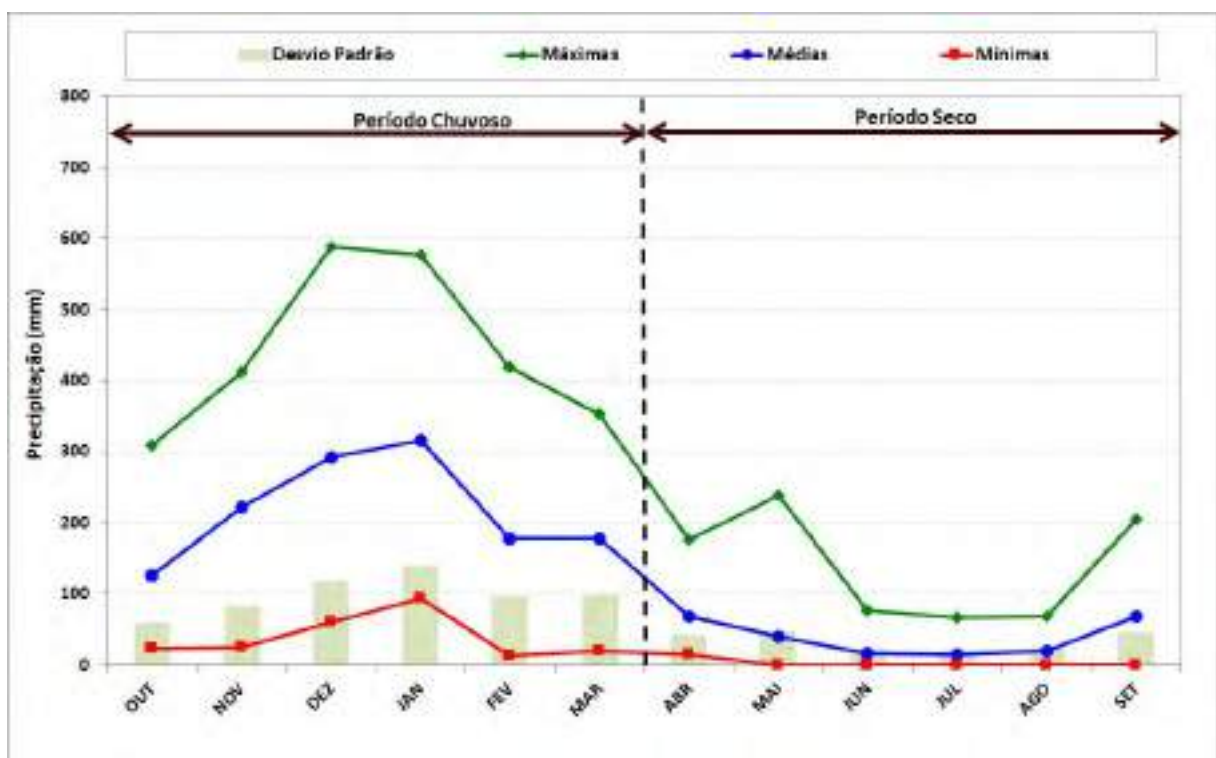


Figura 5.2: Precipitação média, máxima e mínima mensal - Mina de Fábrica (1974 a 2018).

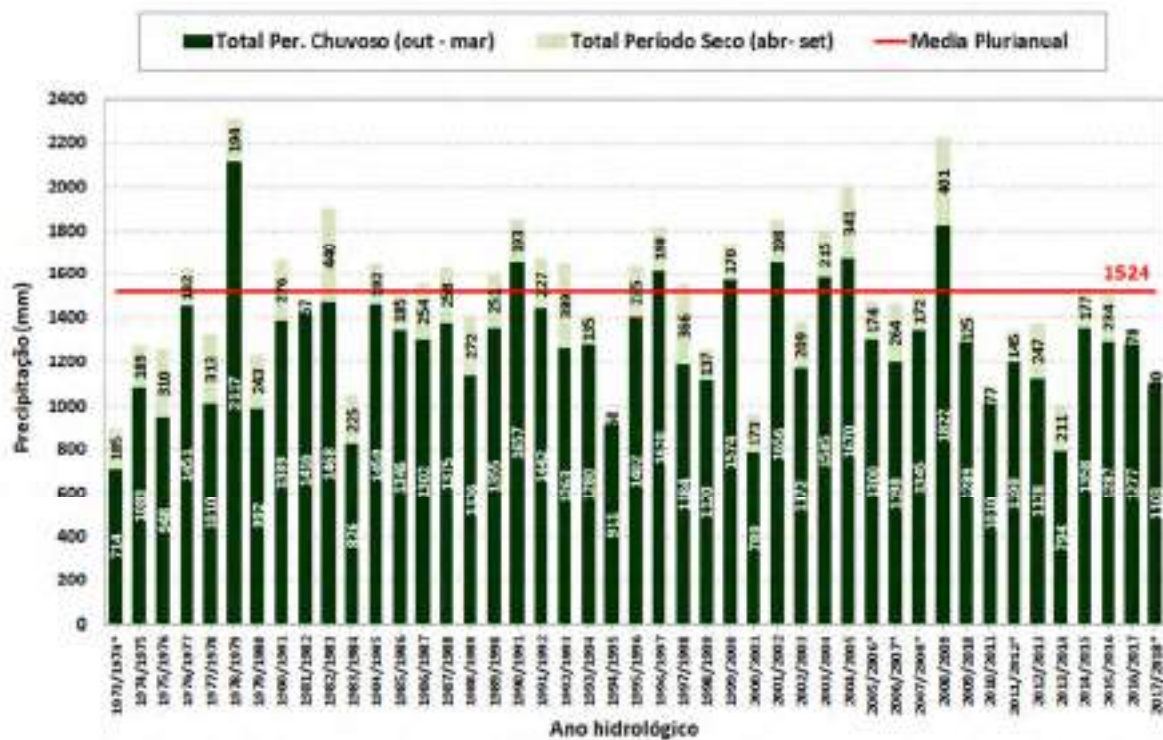


Figura 5.3: Precipitação por ano hidrológico - Mina de Fábrica (1974 a 2018).

## 5.2 PIEZOMETRIA

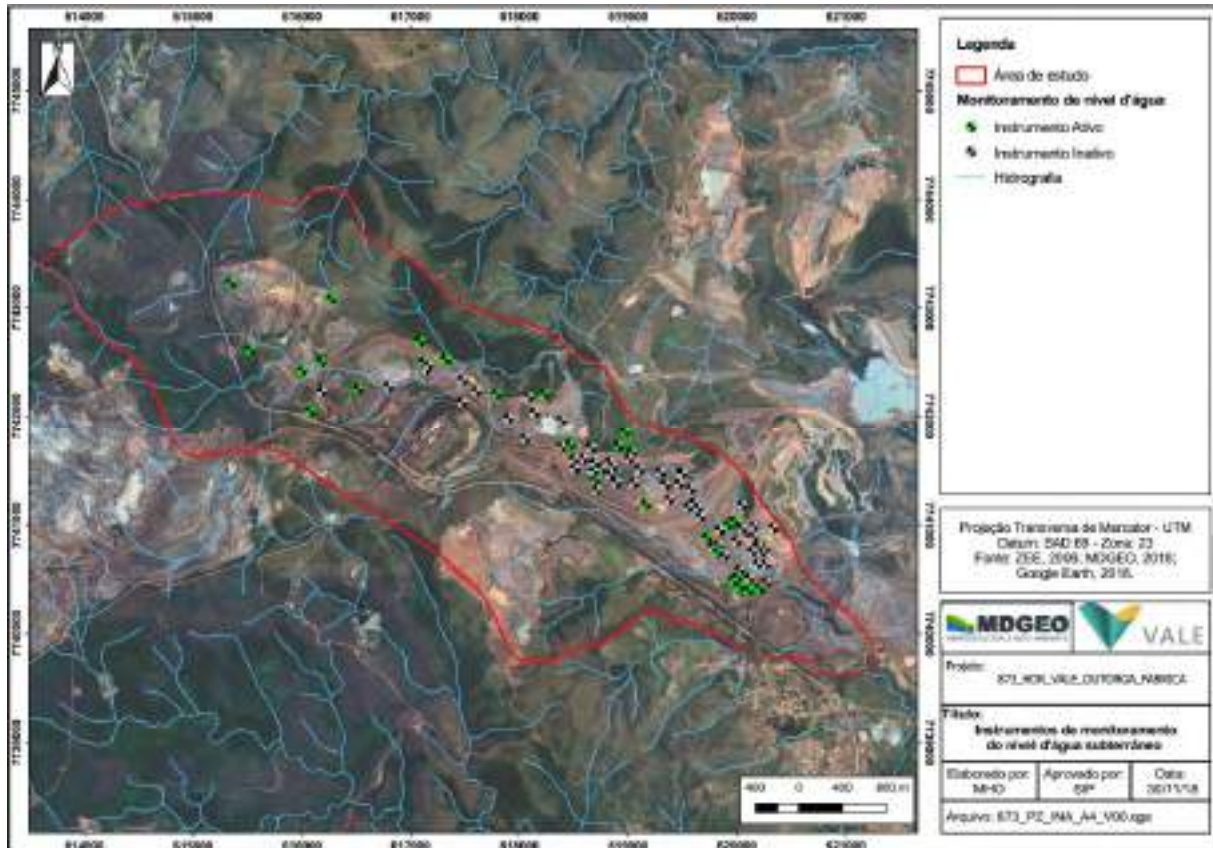
Com base nos dados disponibilizados pelo cliente, a Mina de Fábrica possui 109 instrumentos de monitoramento do nível d’água subterrânea, entre Indicadores de Nível d’Água (INA) e Piezômetros (PZ), cadastrados em seu banco de dados, sem contar com os instrumentos instalados na cava de João Pereira. Entretanto, muitos possuem um curto período de monitoramento, uma vez que foram destruídos devido ao avanço das operações da lavra.

De modo geral, os registros de monitoramento iniciam-se em abril de 2005 nas cavas Segredo, Ponto 3 e Ponto 2, em maio de 2006 na Área 10, setembro de 2006 na Área 9. Já a Área 8 começou a ser instrumentada a partir do ano de 2017.

No total foram compilados dados de 100 instrumentos (que possuíam pelo menos um registro de nível d’água até junho de 2018). Dentre estes apenas 23 permanecem atualmente ativos. Os outros 9 instrumentos cadastrados no banco de dados disponibilizado pela Vale foram construídos recentemente (entre 2017 e 2018), sendo o monitoramento dos mesmos iniciado após junho de 2018 (último mês contemplado na compilação de dados).



A distribuição espacial de todos os instrumentos cadastrados na base de dados disponibilizada pela contratante é mostrada no mapa da Figura 5.4.



**Figura 5.4: Distribuição geral de INAs e Piezômetros na área da Mina de Fábrica.**

A Figura 5.5 apresenta a evolução do nível d'água entre abril de 2005 e junho de 2018, incluindo os registros de monitoramento de todos os piezômetros e INAs, presentes na área em estudo e considerados neste relatório.

Nota-se, de forma geral, que as cotas do nível d'água da área atualmente variam entre 1260 e 1000 metros aproximadamente, sendo que os instrumentos que registram os níveis mais elevados estão posicionados nas proximidades da Área 9, e aqueles que registram os níveis mais baixos estão localizados na cava do Ponto 2, o que indica um gradiente hidráulico da ordem de 260 metros de NW para SE.

Para melhor visualizar a variação do nível d'água na área, adiante, as informações e evolução gráfica dos dados desses instrumentos serão apresentados segundo às áreas 8 e 9; 9 ½ e 10; Segredo e Ponto3; e Ponto 2.

## ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

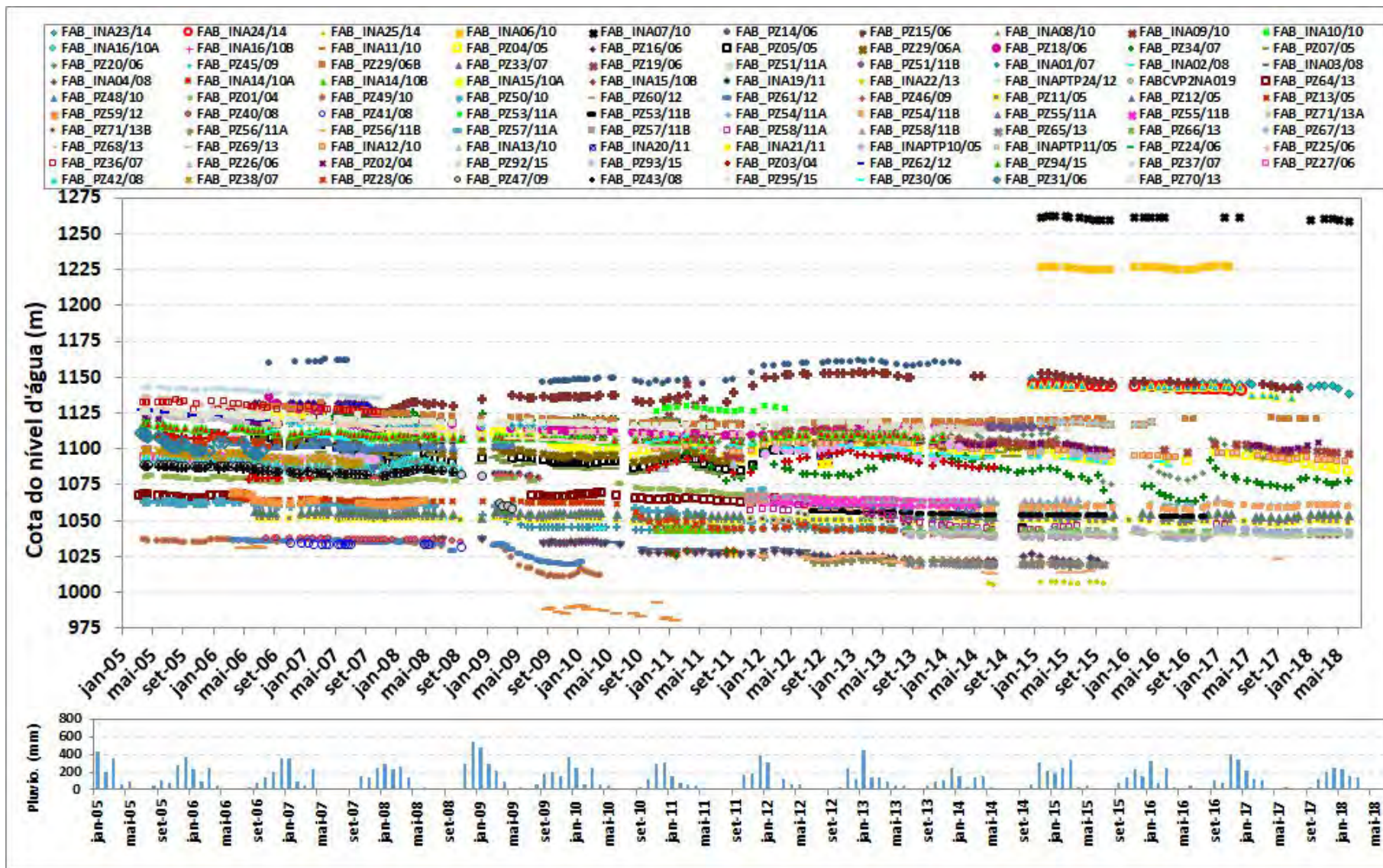


Figura 5.5: Evolução dos níveis d'água dos piezômetros e INAs presentes na área de estudo.

### 5.2.1 Áreas 8 e 9

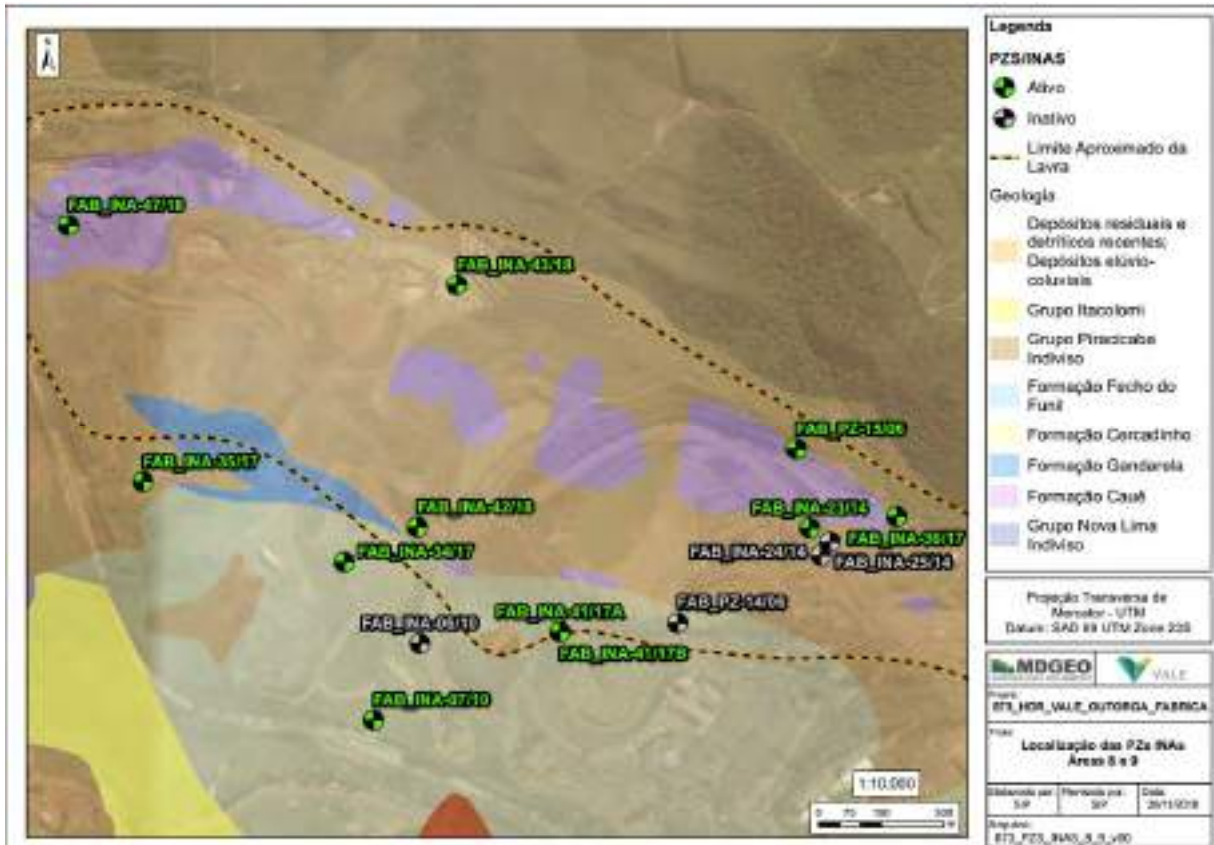
No contexto das Áreas 9 e 8 existem 15 instrumentos cadastrados, sendo 13 INAs e 2 piezômetros, sobre os quais destacam-se a seguintes observações:

- O monitoramento do instrumento FAB\_PZ-14/06 foi paralisado pois a área em que o mesmo está posicionado foi alagada pelo rejeito que é lançado na cava da Área 9;
- O monitoramento do instrumento FAB\_PZ-15/06 foi paralisado em novembro de 2017 pois o mesmo encontra-se entupido. Seu status permanece ativo uma vez que será realizada uma tentativa de recuperação do mesmo;
- Existem 8 novos instrumentos distribuídos nas duas áreas, porém o monitoramento dos mesmos foi iniciado em período posterior a junho de 2018.

A Tabela 5.3 apresenta os principais dados cadastrais desses instrumentos e a Figura 5.6 o mapa com a localização dos mesmos.

**Tabela 5.3: Dados cadastrais dos instrumentos das Áreas 8 e 9**

Nome Padrão	Tipo	Situação	Coordenadas UTM SAD 69		Cota boca (m)	Ângulo instal.	Diam. (pol)	Prof. (m)	Dados compilados
			E-W	N-S					
FAB_INA-34/17	INA	Ativo/Novo	616002	7742417	1262.7	90	-	-	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_INA-35/17	INA	Ativo/Novo	615521	7742607	1300.2	90	-	-	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_INA-42/18	INA	Ativo/Novo	616176	7742501	1229.5	90	1	130.0	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_INA-43/18	INA	Ativo/Novo	616270	7743079	1289.0	90	1	102.0	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_INA-47/18	INA	Ativo/Novo	615343	7743222	1300.1	90	-	-	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_INA-23/14	INA	Ativo/Operante	617113	7742498	1175.8	90	1	50.0	jan-2015 a jun-2018
FAB_INA-24/14	INA	Inativo	617139	7742432	1176.3	90	1	50.0	jan-2015 a mar-2017
FAB_INA-25/14	INA	Inativo	617161	7742466	1162.3	90	1	50.0	jan-2015 a nov-2017
FAB_INA-06/10	INA	Inativo	616182	7742223	1235.5	90	1	19.9	jan-2015 a mar-2017
FAB_INA-07/10	INA	Ativo/Operante	616072	7742042	1275.5	90	1	46.5	jan-2015 a jun-2018
FAB_INA-36/17	INA	Ativo/Novo	617320	7742524	1129.0	90	1	-	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_INA-41/17A	INA	Ativo/Novo	616516	7742250	1213.7	90	1	200.7	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_INA-41/17B	INA	Ativo/Novo	616516	7742250	1213.7	90	1	200.7	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_PZ-14/06	PZ	Inativo	616797	7742273	1165.9	80	1	91.4	ago-2006 a abril-2014
FAB_PZ-15/06	PZ	Ativo/Operante	617081	7742686	1167.0	80	1	257.9	ago-2006 a nov-2017

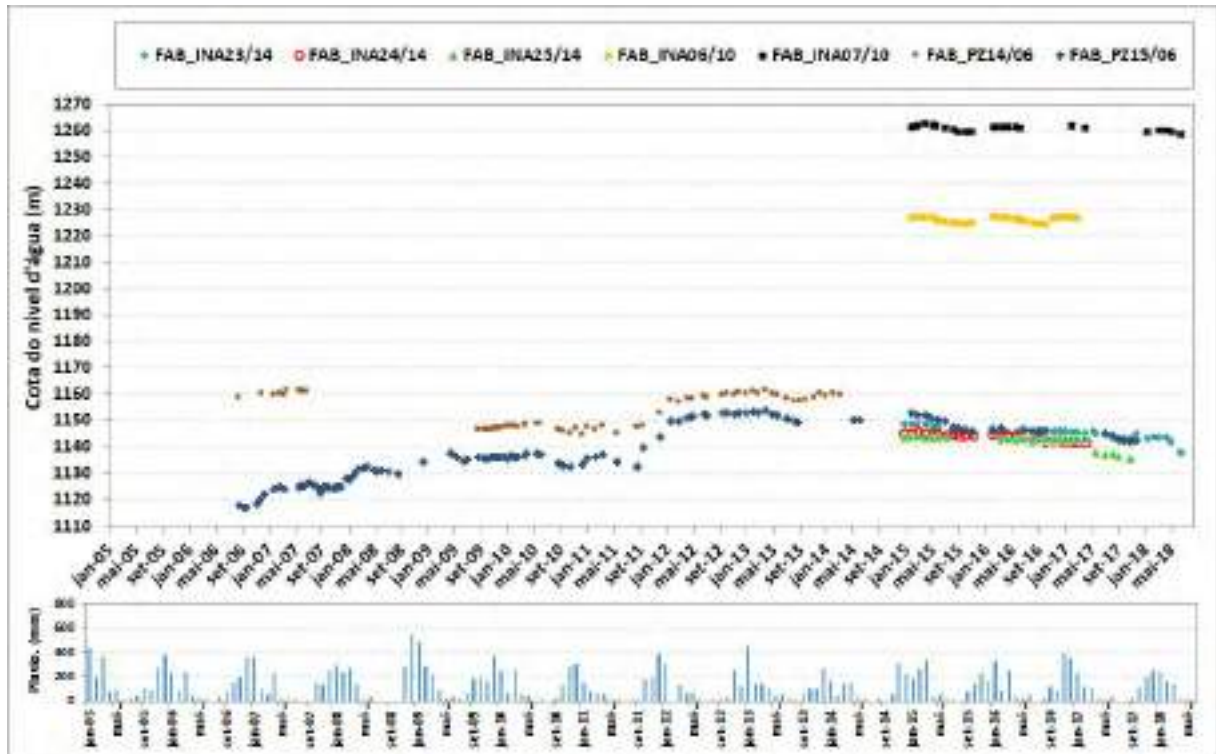


**Figura 5.6: Localização instrumentos – Áreas 8 e 9.**

A Figura 5.7 a seguir mostra a evolução do monitoramento do nível d’água nos instrumentos localizados nas áreas 8 e 9.

Nota-se que a cota do nível d’água observado, nos dias atuais, varia entre 1145 e 1260 metros aproximadamente, sendo maior na região a SW da área (a mais de 200 m da cava) nos INAs FAB\_INA-06/10 e FAB\_INA-07/10, perfurados em 2010, mas com registros apenas a partir de 2015, ambos posicionados sob o domínio geológico da Formação Cercadinho.

Nos instrumentos que se encontram mais próximos ou dentro dos limites da cava (FAB\_INA-23/14, FAB\_INA-24/14, FAB\_INA-25/14, e FAB\_PZ-15/06), dentro do domínio geológico da Formação Ferrífera, a cota do nível d’água é da ordem de 1145m atualmente, o que indica um gradiente hidráulico aproximado de 0.1m/m de sudoeste para nordeste, considerando os níveis dos instrumentos FAB\_INA-07/10 e FAB\_PZ-15/06.



**Figura 5.7: Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto das Áreas 8 e 9.**

Nos dispositivos que possuem maior série de dados é perceptível a recuperação de nível, a partir de 2006 no FAB\_PZ-15/06 (recuperação aproximada de 35m - entre ago-2008 e dez-2014), e a partir de 2011 no FAB\_PZ-14/06 (recuperação aproximada de 14m entre mai-2011 e jun-2014).

O início da recuperação do nível coincide com paralização das atividades de lavra na cava da Área 9, quando o bombeamento médio saiu do patamar de produção de 500 m<sup>3</sup>/h (2006) para 60 m<sup>3</sup>/h (2011) (ver item 6.4), sendo mantido, segundo POTAMOS e HIDROVIA (2013), para efeito de estabilidade de taludes da cava.

A partir do ano de 2015 nota-se ligeiro rebaixamento da ordem de 7 m, o que pode estar associado a operação de 3 novos poços na Área 9 ½ e aumento da vazão global de exploração para 200 m<sup>3</sup>/h aproximadamente, e/ou à variação do nível d'água do lago da cava 9, o qual passa por frequentes operações de dragagem. Após 2015, observa-se a estabilização dos níveis, os quais voltam a cair entre 2017 e 2018.

### 5.2.2 Área 9 ½ e 10

No contexto das Áreas 9 ½ e 10 existem 21 instrumentos cadastrados, sendo 7 INAs e 14 piezômetros, sobre os quais destacam-se a seguintes observações:

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

- 13 instrumentos foram destruídos e/ou danificados pela operação da lavra, estando atualmente inativos;
- O instrumento FAB\_PZ-07/05 está obstruído, porém será realizada tentativa de limpeza; e o FAB\_PZ-16/06 está seco desde meados de 2008;
- O FAB\_INA-37/17 foi construído recentemente e seu monitoramento foi iniciado após junho de 2018. Trata-se de um instrumento jorrante.

A Tabela 5.3 apresenta os principais dados cadastrais desses instrumentos e a Figura 5.8 o mapa com a localização dos mesmos.

**Tabela 5.4: Dados cadastrais dos instrumentos das Áreas 9 ½ e 10**

Nome Padrão	Tipo	Situação	Coordenadas UTM SAD 69		Cota boca (m)	Ângulo instal.	Diam. (pol)	Prof. (m)	Dados compilados
			E-W	N-S					
FAB_INA-08/10	INA	Inativo/Destruido	618138	7742030	1143.8	90	2	150.0	set-2010 a dez-2010
FAB_INA-09/10	INA	Inativo/Destruido	618054	7741789	1188.0	90	2	100.0	nov-2010 a out-2010
FAB_INA-10/10	INA	Inativo/Destruido	617896	7741979	1157.4	90	2	147.2	nov-2010 a abr-2012
FAB_INA-16/10A	INA	Inativo/Destruido	618387	7741960	1122.1	90	2	85.0	nov-2010 a mai-2011
FAB_INA-16/10B	INA	Inativo/Destruido	618387	7741960	1122.1	90	2	57.0	nov-2010 a mai-2011
FAB_INA-11/10	INA	Inativo/Destruido	617474	7742331	1134.2	90	2	100.0	nov-2010 a out-2013
FAB_INA-37/17	INA	Ativo/Novo	618676	7741704	1185.8	90	-	190.0	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_PZ-04/05	PZ	Ativo/Operante	619032	7741658	1198.4	70	1	169.8	jul-2006 a jun-2018
FAB_PZ-16/06	PZ	Ativo/Seco	618910	7741720	1223.6	75	1	220.8	jun-2006 a jun-2018
FAB_PZ-05/05	PZ	Inativo	618084	7742179	1145.2	70	1	170.3	jun-2006 a dez-2014
FAB_PZ-29/06A	PZ	Inativo	618464	7741726	1170.2	80	1	149.2	jun-2006 a out-2016
FAB_PZ-18/06	PZ	Inativo	618386	7741707	1188.0	70	1	213.6	ago-2006 a jun-2014
FAB_PZ-34/07	PZ	Ativo/Operante	617784	7742203	1134.3	65	1	133.4	mai-2007 a jun-2018
FAB_PZ-07/05	PZ	Ativo/Obstruido	618231	7742204	1156.7	90	1	118.2	mai-2006 a nov-2014
FAB_PZ-20/06	PZ	Inativo	617604	7742230	1137.0	70	1	189.3	fev-2007 a jul-2017
FAB_PZ-45/09	PZ	Inativo	617471	7742127	1135.4	70	1	120.0	nov-2006 a ago-2009
FAB_PZ-29/06B	PZ	Ativo/Operante	618464	7741726	1170.2	80	1	74.7	fev-2007 a jan-2018
FAB_PZ-33/07	PZ	Inativo	618669	7741698	1185.8	65	1	211.8	fev-2007 a mar-2013
FAB_PZ-19/06	PZ	Ativo/Operante	618969	7741847	1251.1	90	2	251.1	nov-2010 a jun-2018
FAB_PZ-51/11A	PZ	Inativo	618654	7741702	1188.4	70	1	106.9	mar-2012 a mai-2015
FAB_PZ-51/11B	PZ	Inativo	618654	7741702	1188.4	70	1	101.5	mar-2012 a mai-2015



Figura 5.8: Localização instrumentos - Área 9 ½ e 10.

A Figura 5.9 a seguir mostra a evolução do monitoramento do nível d'água nos instrumentos localizados na Área 10. Nota-se que a cota do nível d'água observado, nos dias atuais, varia entre 1070 e 1125 metros aproximadamente. São observadas oscilações de nível da água decorrentes do bombeamento e também causadas pela variação sazonal das chuvas.

Desta forma, a região entre os limites das cavas da Área 10 e de Segredo SW apresenta as maiores cotas de nível d'água (~1120m), considerando os instrumentos ativos. A partir dessa região, notam-se gradientes para NW, onde os instrumentos indicam níveis da água entre 1060 e 1080m, e para E, onde são observados níveis da ordem de 1090m.

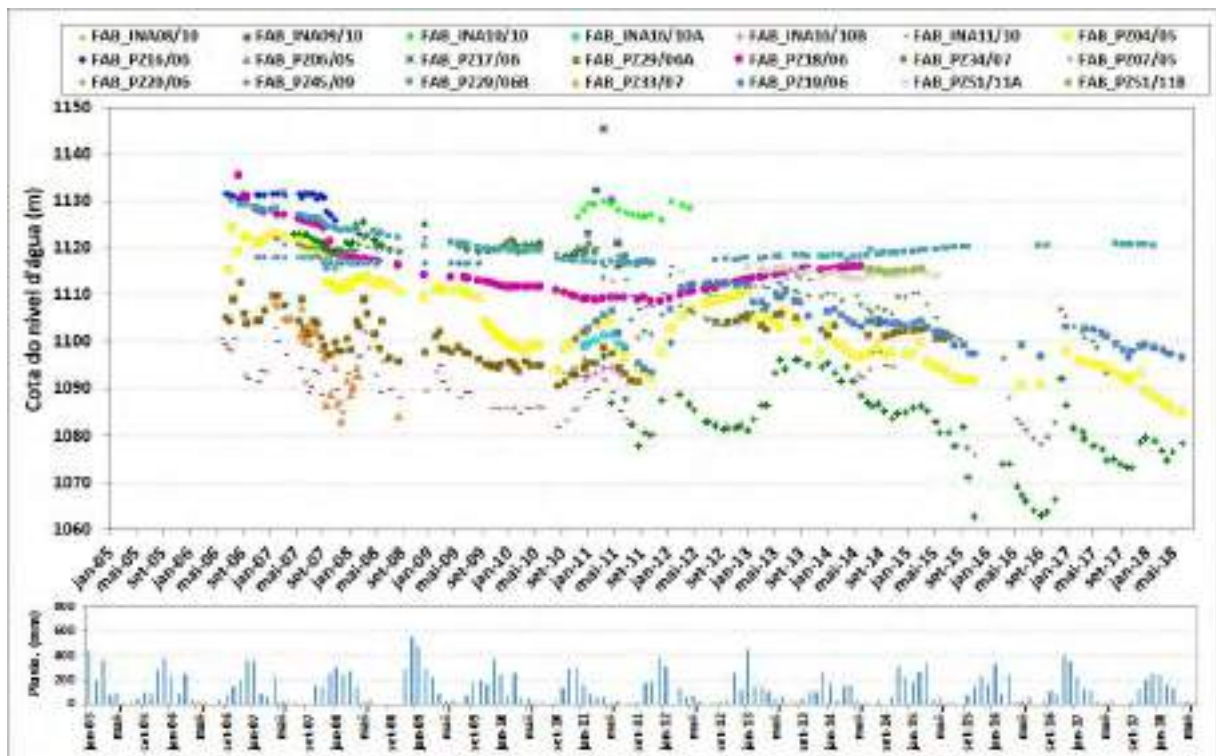


Figura 5.9: Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto da cava da Área 10.

Com base no histórico de dados, observa-se que apesar de o bombeamento da cava da Área 10 ter iniciado apenas em 2008, o rebaixamento do nível d'água é notável já a partir de 2006, sendo este reflexo do desaguamento nas demais cavas (Segredo e Ponto 2).

Nos instrumentos FAB\_PZ-18/06 e FAB\_PZ-29/06A e B, é possível notar influência do rebaixamento até início de 2011, e a partir desse período ambos mostram estabilização seguida da recuperação dos níveis d'água. Esse comportamento está provavelmente associado a queda brusca da vazão bombeada na Área 9 ao final do ano de 2010, e início da disposição de rejeito na cava da Área 10 em 2012.

Os instrumentos FAB\_PZ-34/07 e FAB\_PZ-20/06, posicionados na área 9 ½ mostram-se mais influenciados pelas operações de desaguamento, com rebaixamento total observado entre 50 e 60 metros, devido à proximidade dos poços PTP-20, 28 e 32. Observa-se ainda que os dois instrumentos apresentam rebaixamento intensificado a partir de outubro de 2015, provavelmente devido a operação do poço PTP32/15, e ao final de 2016 e início de 2017 observa-se uma recuperação devido a paralização do referido poço.



### 5.2.3 Segredo e Ponto 3 (ou Área 15)

Na área das cavas Segredo e Ponto 3 existem 27 instrumentos cadastrados, 6 INAs e 21 piezômetros, conforme listado na Tabela 5.5. Dentre estes, 25 foram destruídos e/ou danificados pela operação da lavra, e por isso encontram-se inativos.

**Tabela 5.5: Dados cadastrais dos instrumentos das Áreas Segredo e Ponto 3**

Nome Padrão	Tipo	Situação	Coordenadas UTM SAD 69		Cota boca (m)	Ângulo instal.	Diam. (pol)	Prof. (m)	Dados compilados
			E-W	N-S					
FAB_INA-12/10	INA	Ativo/Operante	619163	7741182	1136.7	90	2	100.0	nov-2010 a jun-2018
FAB_INA-13/10	INA	Inativo/Submerso	619340	7741360	1090.2	90	2	103.0	nov-2010 a set-2011
FAB_INA-20/11	INA	Inativo/Submerso	619488	7741472	1095.0	70	1	226.1	set-2012 a out-2011
FAB_INA-21/11	INA	Inativo/Destruído	619552	7741154	1118.7	70	1	160.2	set-2012 a out-2012
FAB_INA-PTP-10/05	INA	Inativo	618754	7741504	1105.0	90	6	70.0	jan-2015 a abr-2016
FAB_INA-PTP-11/05	INA	Inativo/Destruído	618503	7741598	1162.3	90	8	151.8	jan-2015 a abr-2016
FAB_PZ-24/06	PZ	Inativo/Destruído	618829	7741456	1125.6	90	1	23.0	abr-2005 a mai-2006
FAB_PZ-25/06	PZ	Inativo/Destruído	618588	7741603	1157.2	90	1	61.3	abr-2005 a jul-2006
FAB_PZ-36/07	PZ	Inativo/Destruído	618681	7741485	1135.0	90	1	38.8	abr-2006 a nov-2007
FAB_PZ-26/06	PZ	Inativo/Destruído	618832	7741572	1155.0	90	1	70.0	jan-2005 a ago-2006
FAB_PZ-02/04	PZ	Ativo/Operante	618695	7741406	1123.0	90	1	48.8	fev-2007 a fev-2018
FAB_PZ-92/15	PZ	Inativo	618507	7741509	1129.1	90	1	31.9	abr-2005 a fev-2014
FAB_PZ-93/15	PZ	Inativo	618888	7741381	1133.0	90	1	47.1	abr-2005 a mar-2014
FAB_PZ-03/04	PZ	Inativo	619105	7741499	1123.0	90	1	45.1	mar-2005 a ago-2014
FAB_PZ-62/12	PZ	Inativo	618688	7741564	1156.0	90	1	68.1	abr-2005 a abr-2007
FAB_PZ-94/15	PZ	Inativo	619053	7741375	1130.6	90	1	47.3	abr-2005 a jan-2014
FAB_PZ-37/07	PZ	Inativo	618503	7741598	1162.0	90	1	49.4	abr-2005 a abr-2005
FAB_PZ-27/06	PZ	Inativo	619377	7741225	1113.2	90	1	48.3	abr-2005 a dez-2006
FAB_PZ-42/08	PZ	Inativo	619576	7741327	1104.1	90	1	48.6	abr-2005 a out-2008
FAB_PZ-38/07	PZ	Inativo	619467	7741369	1106.5	90	1	36.0	abr-2005 a ago-2007
FAB_PZ-28/06	PZ	Inativo	619297	7741475	1109.3	90	1	48.0	abr-2005 a set-2006
FAB_PZ-47/09	PZ	Inativo	619610	7741196	1113.7	90	1	60.0	abr-2005 a dez-2008
FAB_PZ-43/08	PZ	Inativo	619638	7741152	1105.9	90	1	40.0	abr-2005 a mai-2008
FAB_PZ-95/15	PZ	Inativo	619008	7741600	1180.8	65	1	185.4	jul-2007 a ago-2014
FAB_PZ-30/06	PZ	Inativo	618854	7741528	1132.6	65	1	77.2	ago-2006 a jan-2016
FAB_PZ-31/06	PZ	Inativo	619500	7741466	1117.7	90	1	48.0	mar-2005 a jul-2006
FAB_PZ-70/13	PZ	Inativo	618708	7741311	1167.1	90	1	77.1	abr-2005 a mai-2013



Figura 5.10: Localização instrumentos - Área Segredo/Ponto3.

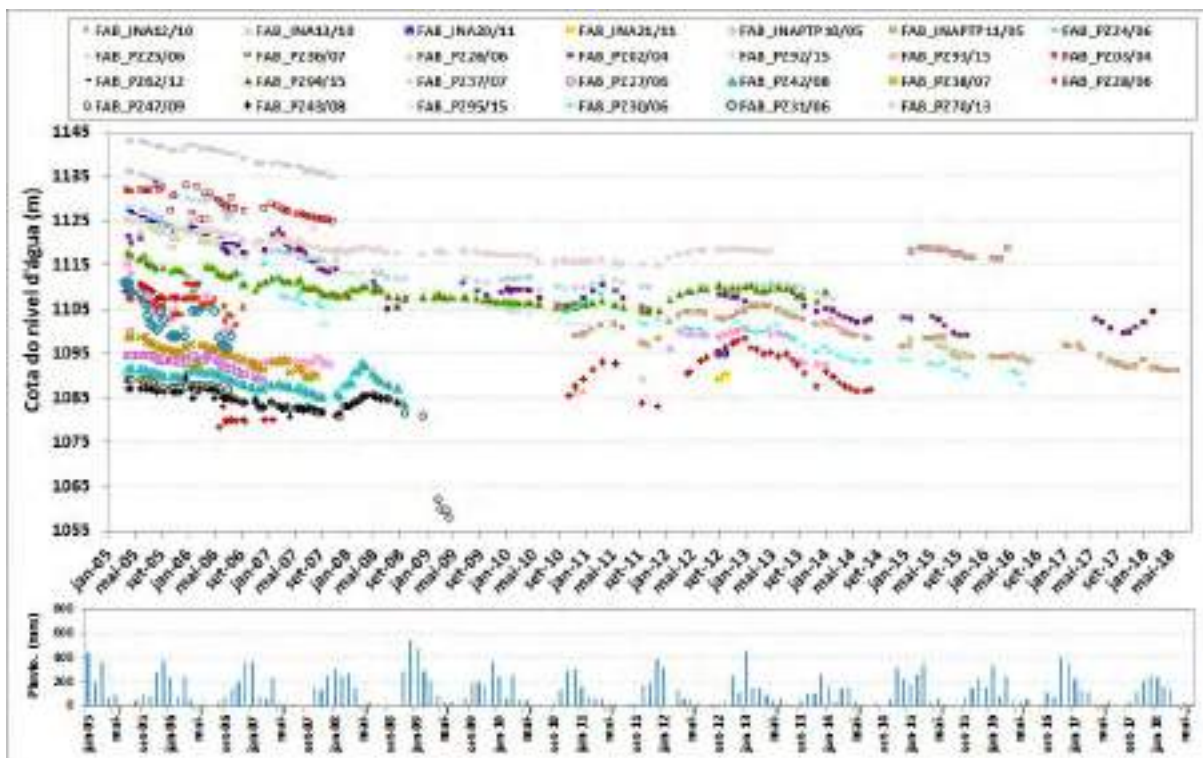
A Figura 5.11 a seguir mostra a evolução do monitoramento do nível d'água nos instrumentos localizados nas áreas das cavas Segredo e Ponto 3, a qual indica que as cotas do nível d'água observadas, com base nos instrumentos ativos, variam entre 1090 (região Ponto 3) e 1115 (próximo à Área 10) metros aproximadamente.

No instrumento FAB\_PZ-47/09, já destruído, o último registro realizado em abril de 2009 apontava uma cota do nível d'água de aproximadamente 1060 metros, na porção SE do Ponto 3, e já indicava um rebaixamento da ordem de 30 metros. No entanto, este pode ser um efeito bastante pontual, uma vez que nenhum outro apresentou o mesmo comportamento no período.

De forma semelhante à Área 10, são observadas oscilações de nível da água decorrentes do bombeamento e também causadas pela variação sazonal das chuvas.

Com base no histórico de dados apresentado na figura acima, observa-se uma tendência de rebaixamento na maioria dos instrumentos localizados nas áreas Segredo e Ponto 3 até início de 2012, e a partir daí nota-se estabilização e recuperação (~5m) do nível d'água principalmente nos instrumentos FAB\_PZ-94/15 e

FAB\_PZ-70/13, localizados na porção centro-oeste da cava. A partir de 2015 observa-se novamente uma tendência de rebaixamento registra principalmente pelos instrumentos FAB\_PZ-02/04 e FAB\_INA-12/10.



**Figura 5.11: Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto da cava da Segredo/Ponto3.**

### 5.2.4 Ponto 2 (ou Área 18)

Conforme listado na Tabela 5.6 a seguir, existem 46 instrumentos cadastrados na área da cava Ponto 2 (13 INAs e 33 piezômetros), sendo que 12 encontram-se em operação, e 34 não são mais monitorados. O monitoramento do instrumento FAB\_INA-40/17 foi iniciado após junho de 2018.

**Tabela 5.6: Dados cadastrais dos instrumentos da área Ponto 2**

Nome Padrão	Tipo	Situação	Coord. UTM SAD 69		Cota boca (m)	Ângulo instal.	Diam. (pol)	Prof. (m)	Dados compilados
			E-W	N-S					
FAB_INA-01/07	INA	Inativo/Destruido	620133	7740877	1056.1	90	2	73.0	fev-2008 ago-2015
FAB_INA-02/08	INA	Inativo/Destruido	620151	7740880	1067.9	90	2	82.0	abr-2008 a jul-2008
FAB_INA-03/08	INA	Inativo/Destruido	620191	7740807	1048.3	90	2	42.7	jul-2008 a jul-2012
FAB_INA-04/08	INA	Inativo	620260	7740784	1058.4	90	2	42.4	jun-2008 a set-2015
FAB_INA-14/10A	INA	Inativo/Destruido	619882	7740712	1044.0	90	2	71.9	nov-2010 a set-2011
FAB_INA-14/10B	INA	Inativo/Destruido	619882	7740712	1044.0	90	2	44.0	nov-2010 a set-2011
FAB_INA-15/10A	INA	Inativo/Destruido	620023	7740579	1028.8	90	2	90.0	nov-2010 a out-2011
FAB_INA-15/10B	INA	Inativo/Destruido	620023	7740579	1028.8	90	2	67.0	nov-2010 a out-2011
FAB_INA-19/11	INA	Inativo/Destruido	619971	7741025	1082.4	80	1	51.3	dez-2011 a jan-2012

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

Nome Padrão	Tipo	Situação	Coord. UTM SAD 69		Cota boca (m)	Ângulo instal.	Diam. (pol)	Prof. (m)	Dados compilados
			E-W	N-S					
FAB_INA-22/13	INA	Inativo/Destruído	620223	7740739	1037.7	90	2	162.0	jul-2014 a out-2015
FAB_INA-PTP-24/12	INA	Inativo	619775	7740789	1083.6	90	10	155.6	jul-2014 a jan-2016
FAB_CVP2NA019	INA	Inativo	619775	7740790	1084.0	90	10	150.0	dez-2014 a jan-2016
FAB_INA-40/17	INA	Ativo/Operante	620186	7740801	1025.9	90	-	-	monitoramento iniciado após jun-2018
FAB_PZ-64/13	PZ	Inativo/Destruído	620155	7740980	1119.3	90	1	99.4	mar-2005 a jan-2012
FAB_PZ-48/10	PZ	Inativo	619642	7741152	1106.0	80	1	60.9	abr-2006 a ago-2008
FAB_PZ-01/04	PZ	Ativo/Operante	619722	7740878	1093.5	90	1	70.0	abr-2005 a jun-2018
FAB_PZ-49/10	PZ	Inativo	620267	7740464	1046.1	90	1	36.0	abr-2005 a ago-2008
FAB_PZ-50/10	PZ	Inativo	619830	7740809	1062.0	90	1	63.1	abr-2005 a jan-2016
FAB_PZ-60/12	PZ	Inativo/Destruído	620261	7740631	1032.7	70	1	140.0	abr-2006 a fev-2011
FAB_PZ-61/12	PZ	Inativo/Destruído	620111	7740502	1055.8	80	1	78.2	abr-2006 a jun-2008
FAB_PZ-46/09	PZ	Inativo	619663	7741068	1096.3	80	1	88.9	mai-2006 a ago-2009
FAB_PZ-11/05	PZ	Ativo/Operante	620102	7740392	1059.0	75	1	57.0	jul-2006 a jun-2018
FAB_PZ-12/05	PZ	Ativo/Operante	620023	7740426	1066.2	70	1	82.0	jun-2006 a jun-2018
FAB_PZ-13/05	PZ	Inativo/Destruído	620046	7740954	1069.3	80	1	93.8	mar-2006 a fev-2015
FAB_PZ-59/12	PZ	Inativo/Destruído	619823	7740729	1071.1	80	1	39.6	mar-2006 a mai-2008
FAB_PZ-40/08	PZ	Inativo	620137	7740746	1036.6	70	1	139.9	ago-2006 a out-2008
FAB_PZ-41/08	PZ	Inativo	620190	7740632	1037.4	65	1	77.2	nov-2006 a mai-2008
FAB_PZ-53/11A	PZ	Inativo/Destruído	620334	7740965	1138.2	70	1	319.8	dez-2011 a jun-2014
FAB_PZ-53/11B	PZ	Inativo/Destruído	620334	7740965	1138.2	70	1	234.7	dez-2011 a jun-2014
FAB_PZ-54/11A	PZ	Ativo/Operante	619968	7740484	1072.5	90	1	140.5	dez-2011 a jun-2018
FAB_PZ-54/11B	PZ	Ativo/Operante	619968	7740484	1072.5	90	1	75.5	dez-2011 a jun-2018
FAB_PZ-55/11A	PZ	Inativo/Destruído	620049	7741173	1097.2	70	1	276.7	dez-2011 a jan-2016
FAB_PZ-55/11B	PZ	Inativo/Destruído	620049	7741173	1097.7	70	1	213.4	dez-2011 a jun-2014
FAB_PZ-71/13A	PZ	Inativo	619841	7740944	1084.7	70	1	128.2	dez-2011 a ago-2015
FAB_PZ-71/13B	PZ	Inativo	619841	7740944	1084.7	70	1	75.0	dez-2011 a set-2017
FAB_PZ-56/11A	PZ	Inativo	619995	7740841	1024.8	90	1	150.6	dez-2011 a ago-2015
FAB_PZ-56/11B	PZ	Inativo	619995	7740841	1024.8	90	1	45.5	dez-2011 a set-2017
FAB_PZ-57/11A	PZ	Inativo/Obstruído	619963	7741024	1082.6	60	1	58.3	dez-2011 a abr-2012
FAB_PZ-57/11B	PZ	Inativo/Obstruído	619963	7741024	1082.6	60	1	31.8	dez-2011 a jan-2012
FAB_PZ-58/11A	PZ	Ativo/Operante	619919	7740990	1082.7	90	1	50.5	dez-2011 a jun-2018
FAB_PZ-58/11B	PZ	Ativo/Operante	619919	7740990	1082.7	90	1	19.5	dez-2011 a jun-2018
FAB_PZ-65/13	PZ	Inativo/Destruído	620199	7740789	1044.5	90	1	61.0	set-2013 a jan-2016
FAB_PZ-66/13	PZ	Ativo/Operante	619828	7740743	1064.5	90	1	60.9	set-2013 a ago-2018
FAB_PZ-67/13	PZ	Ativo/Operante	620001	7740513	1058.5	90	1	61.0	set-2013 a jun-2018
FAB_PZ-68/13	PZ	Ativo/Operante	620210	7740410	1051.5	90	1	61.0	set-2013 a jun-2018
FAB_PZ-69/13	PZ	Ativo/Operante	619976	7741028	1060.5	90	1	61.0	set-2013 a jun-2018



Figura 5.12: Localização instrumentos - Área Ponto 2.

A Figura 5.13 a seguir mostra a evolução do monitoramento do nível d'água nos instrumentos localizados na cava do Ponto 2. Nota-se que as cotas do nível d'água observadas, com base nos instrumentos ativos, variam entre 1070 e 1000 metros aproximadamente.

Com base no histórico de dados apresentado na figura, observa-se uma tendência de rebaixamento na maioria dos instrumentos, a partir de 2008, ano no qual foi iniciado o bombeamento na cava do Ponto 2. Tendência esta que se mantém até os dias atuais, em função da manutenção das taxas de bombeamento

No instrumento FAB\_PZ-60/12 localizado na porção SE do Ponto 2, e destruído em 2011, o último registro realizado em fevereiro do referido mês apontava uma cota do nível d'água de aproximadamente 980 metros, e já indicava um rebaixamento pontual da ordem de 50 metros. Outros instrumentos bastante influenciados pelo rebaixamento são os FAB\_PZ-49/10 e FAB\_PZ-61/12, que ao final do ano de 2010 já demonstravam rebaixamentos da ordem de 25 e 15, respectivamente.

## ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

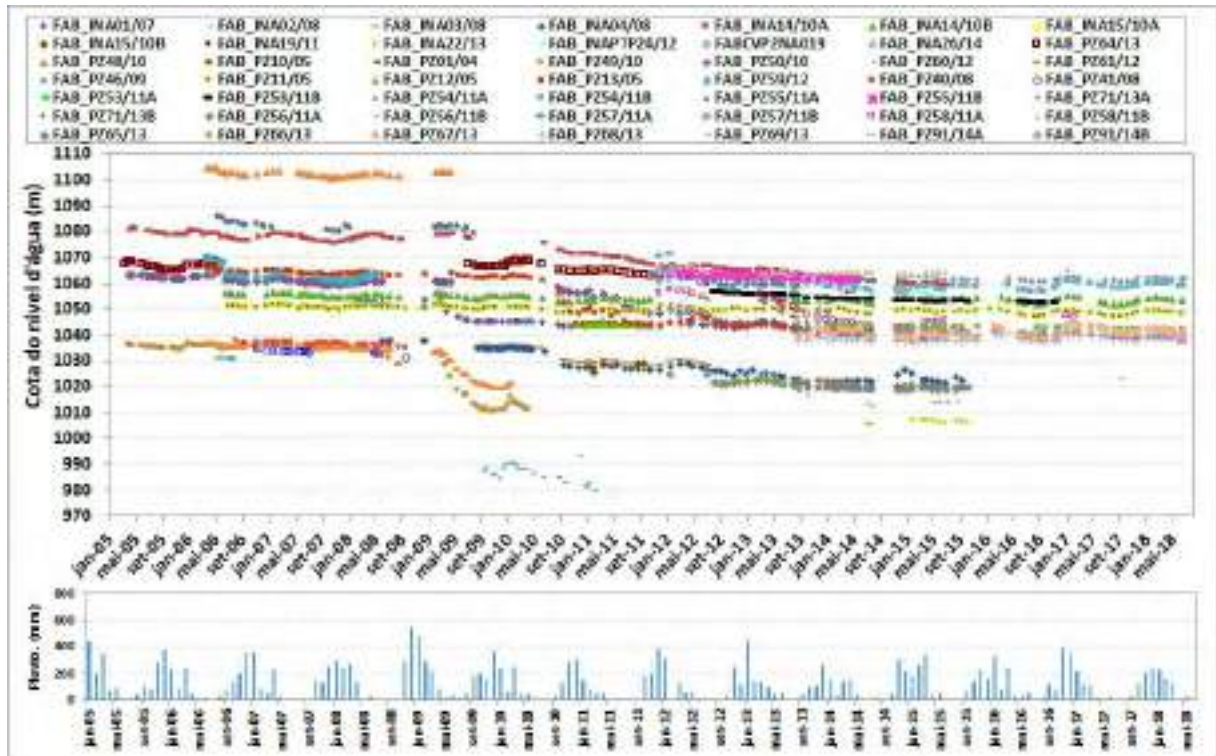


Figura 5.13: Evolução dos níveis d'água monitorados em piezômetros e INAs presentes no contexto da cava do Ponto 2.

### 5.3 VAZÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

A VALE possui uma extensa rede de monitoramento de vazão nos cursos d'água do entorno do Complexo de Fábrica, incluindo pontos de medição com vertedouros (VTD), micromolinetete, e/ou *flowtracker*.

Para este trabalho, foram compilados e utilizados dados de 9 pontos que se encontram nos cursos d'água que drenam o entorno das cavas das Áreas 8, 9, 9 ½, 10 e Segredo/Ponto 3, Ponto 2, ou estão posicionados logo a jusante dessas drenagens.

Os outros pontos ou encontram-se localizados nos córregos que drenam o entorno da cava de João Pereira, área esta que está fora da área modelada; ou monitoram vazão de descarga das barragens Forquilhas I, II, e III, as quais também não são objeto do estudo e estão fora da área do modelo; ou ainda monitoram cursos d'água que estão fora da área modelada e não possuem nenhuma relação com os cursos d'água modelados.

A Tabela 5.7 apresenta as informações cadastrais dos 9 pontos de medição relevantes para o estudo em questão e considerados na presente compilação de dados. A localização desses pontos é apresentada na Figura 5.14.

**Tabela 5.7: Dados cadastrais dos pontos de medição de vazão nos cursos d'água do entorno da Mina de Fábrica**

Instrumento	Descrição	Situação	Método de Medição	Coordenadas UTM SAD 69		Cota topo. (m)	Compilação de dados
				X	Y		
FAB_VZ-boinabresa/05	-	Inativo	Vertedor triangular	619192	7740723	1000	fev-2005 a out-2009
FAB_VZ-jmendes/05	-	Operante	Vertedor triangular	618621	7741041	1000	fev-2005 a jun-2018
FAB_VZ-76/08	Viveiro de mudas	Operante	Vertedor triangular	617247	7742698	1080	out-2009 a jun-2018
FAB_VZ-11/13	Bacia do Córrego das Almas	Operante	Vertedor triangular	613872	7744884	1250	mar-2014 a jun-2018
FAB_VZ-08/12	Jusante da barragem da Prata I	Inativo	Outros Métodos	618418	7742718	1088	abr-2012 a set-2014
FAB_VZ-divineia/05	-	Operante	Vertedor trapezoidal	620262	7740391	1000	fev-2005 a jun-2018
FAB_VZ-08/09	Ribeirão da Prata	Operante	Vertedor trapezoidal	618445	7743103	1088	out-2009 a jun-2018
FAB_VZ-09/09	Acesso pela trilha da linha elétrica/torre da Cemig.	Operante	Vertedor trapezoidal	616276	7743882	1144	out-2009 a jun-2018
FAB_VZ-10/13	Bacia do Córrego das Almas tributário	Operante	Vertedor trapezoidal	613763	7744917	1300	mar-2014 a jun-2018



Figura 5.14: Pontos de medição de vazão utilizados no estudo.

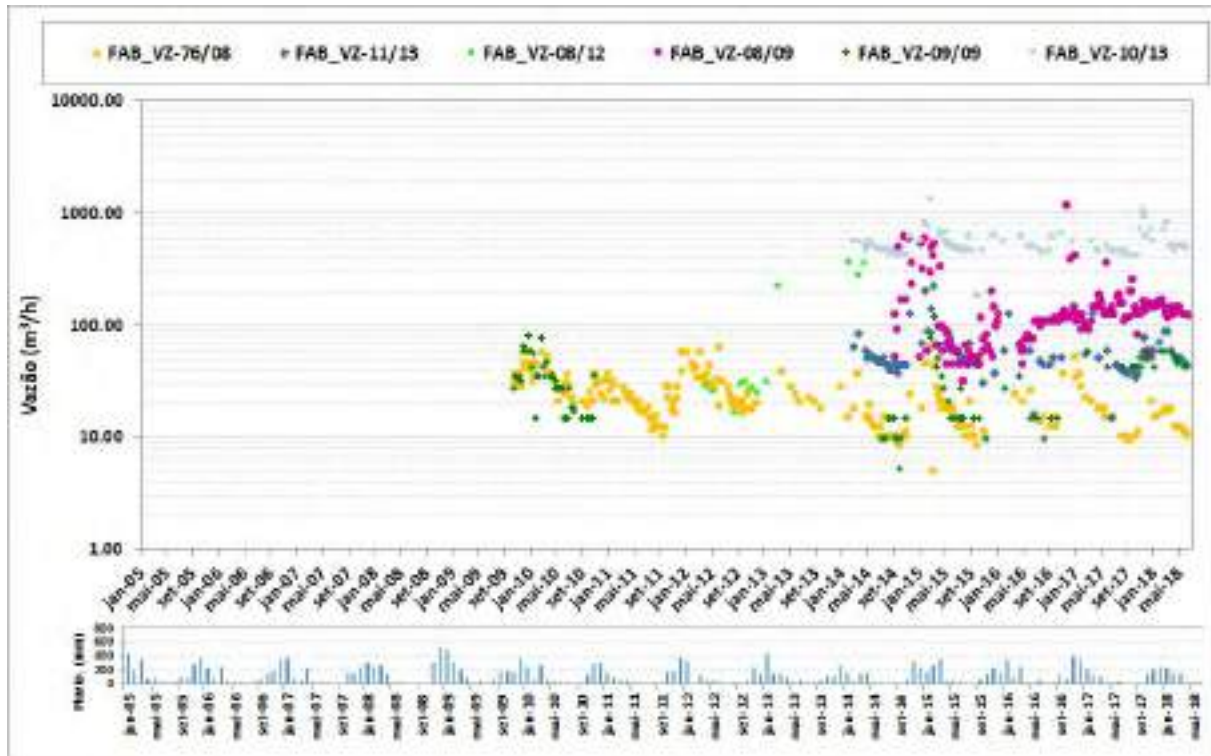
Para melhor visualizar a variação da vazão nesses pontos de monitoramento, a evolução gráfica desta encontra-se apresentada por sub-bacia, Rio das Velhas e Rio Paraopeba. A avaliação desses dados será realizada com foco nas vazões mínimas observadas, uma vez que estas se aproximam do valor de escoamento de base dos sistemas aquíferos presentes na área em estudo.

### 5.3.1 Pontos de Medição sub-bacia do Rio das Velhas

Na sub-bacia do Rio das Velhas, existem registros de vazão em 6 pontos de medição considerados no presente estudo. A Figura 5.15 mostra a evolução gráfica dos deflúvios monitorados nesses pontos.

Nos pontos FAB\_VZ-11/13 e FAB\_VZ-10/13, localizados a NW da área de estudo, e posicionados em drenagens da bacia do Córrego das Almas, a vazão é monitorada desde março de 2014, por meio de vertedores triangular e trapezoidal, respectivamente.





**Figura 5.15: Evolução da vazão nos pontos de medição localizados na sub-bacia do Rio da Velhas.**

Com base nos dados disponibilizados, o FAB\_VZ-10/13, posicionado no leito do Córrego das Almas, registrou vazão mínima da ordem de 180 m<sup>3</sup>/h em outubro de novembro de 2015, valor muito inferior ao observado no mesmo período do ano de 2017 (416 m<sup>3</sup>/h), provavelmente devido ao longo período de estiagem que ocorreu entre os anos de 2012 e 2016. No ponto FAB\_VZ-11/13, localizado em um tributário do Córrego das Almas, em outubro de 2015 foi registrada a vazão mínima da série da ordem de 30 m<sup>3</sup>/h, e em 2017 no mesmo período 36 m<sup>3</sup>/h.

No ponto FAB\_VZ-09/09, localizado na porção NW da área de estudo, e posicionado em um afluente do Córrego das Almas, a vazão é monitorada em vertedor trapezoidal desde outubro de 2009, o qual registra vazões entre 10 e 15 m<sup>3</sup>/h, ao final do período seco.

O ponto FAB\_VZ-76/08 posicionado na bacia do Ribeirão da Prata, nas proximidades da Área 9, possui a vazão monitorada desde de outubro de 2009, em um vertedor triangular, e apresenta vazões entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/h, ao final do período seco. Esta drenagem desagua no Dique CB-03, o qual recebe água da galeria de drenagem da cava da Área 9, e também da Barragem Forquilha I.

A jusante do Dique CB-03 está a barragem da Prata I, cuja vazão de saída era monitorada entre abril de 2012 e março de 2014 por *flow-track*, pelo ponto FAB\_VZ-08/12 que aponta vazões mínimas na ordem de 17 m<sup>3</sup>/h; e ainda mais jusante encontra-se instalado o FAB\_VZ-08/09, com registros entre 2014 e 2018, que aponta vazões mínimas entre 30 e 110 m<sup>3</sup>/h.

De forma geral os pontos de monitoramento supracitados não mostram interferências provocadas pelo desaguamento das cavas da Mina de Fábrica, sendo que as oscilações verificadas estão associadas a variação sazonal.

### 5.3.2 Pontos de Medição sub-bacia do Paraopebas

Na sub-bacia do Rio Paraopebas, existem registros de vazão em 3 pontos de medição posicionados dentro dos limites da área em estudo. A Figura 5.16 mostra a evolução gráfica dos deflúvios monitorados nesses pontos.

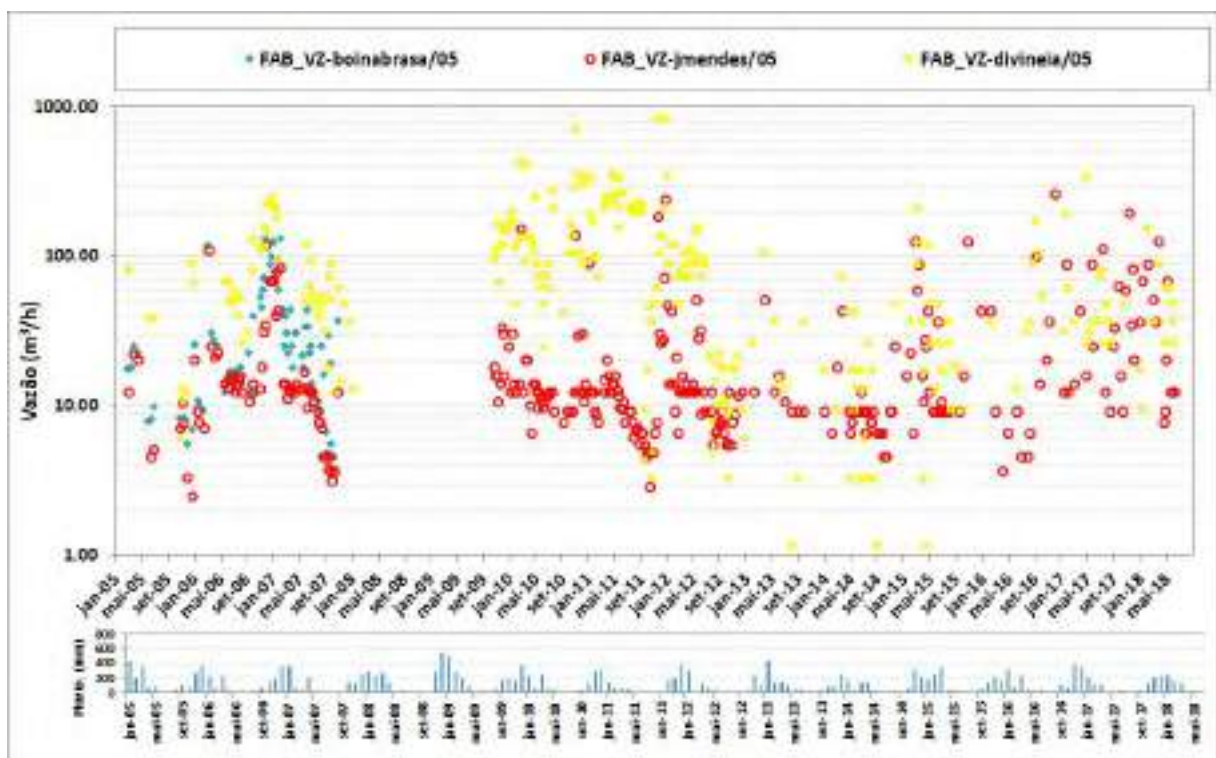


Figura 5.16: Evolução da vazão nos pontos de medição localizados na sub-bacia do Rio Paraopeba.

Os FAB\_VZ-jmendes/05 e FAB\_VZ-boinabrassa/05, ambos localizados na bacia do córrego do Cordeiros, possuem registros de vazão desde fevereiro de 2005, sendo o monitoramento feito por meio de vertedores triangulares.

O FAB\_VZ-boinabresa/05 teve o monitoramento foi interrompido em outubro de 2007, e com base em sua curta série de dados, as vazões mínimas observadas eram ordem de 4 e 6 m<sup>3</sup>/h. O FAB\_VZ-jmendes/05 é monitorado até os dias atuais, e apresenta vazões mínimas entre 2,5 e 5 m<sup>3</sup>/h.

O FAB\_VZ-divineia/05 também se encontra localizado na bacia do córrego do Cordeiros, possui registros de vazão desde fevereiro de 2005, sendo o monitoramento feito por meio de vertedor trapezoidal. Em sua série de dados são observadas vazões mínimas entre 0 e 6 m<sup>3</sup>/h. Apesar estar localizados dentro do quadrante em estudo, este instrumento não representam descargas do compartimento da formação ferrífera onde são desenvolvidas as cavas em análise.

Com base nas séries de dados mostradas na Figura 5.16, estes pontos apresentam grande variabilidade nas medições, o que está associado tanto a aspectos sazonais, como a influência das interferências antrópicas locais (canalização de drenagem, drenagem de rodovia, pilha de estéril, etc.).

Ainda nesta bacia há o monitoramento da vazão da nascente Água Santa, o qual é realizado pela CSN. Segundo dados disponibilizados pela Vale a média das vazões no período seco nessa nascente variou entre 240 a 280 m<sup>3</sup>/h, considerando registros de 2012 a 2015 (Tabela 5.8). Os valores apresentados indicam que até o momento não são observadas interferências que possam ser associadas ao rebaixamento do nível d'água que ocorreu entre os anos de 2005 e 2016.

**Tabela 5.8: Vazões da nascente Água Santa**

Média período seco (m <sup>3</sup> /h)	
2012	278,58
2013	253,03
2014	-
2015	241,12
Média período chuvoso (m <sup>3</sup> /h)	
2012	256,86
2013	249,76
2014	234,18
2015	228,62
Dados 2016 (m <sup>3</sup> /h)	
Janeiro	217,00
Fevereiro	218,9
Março	233,4
Abril	216,9
Maior	238,8
Junho	246,9

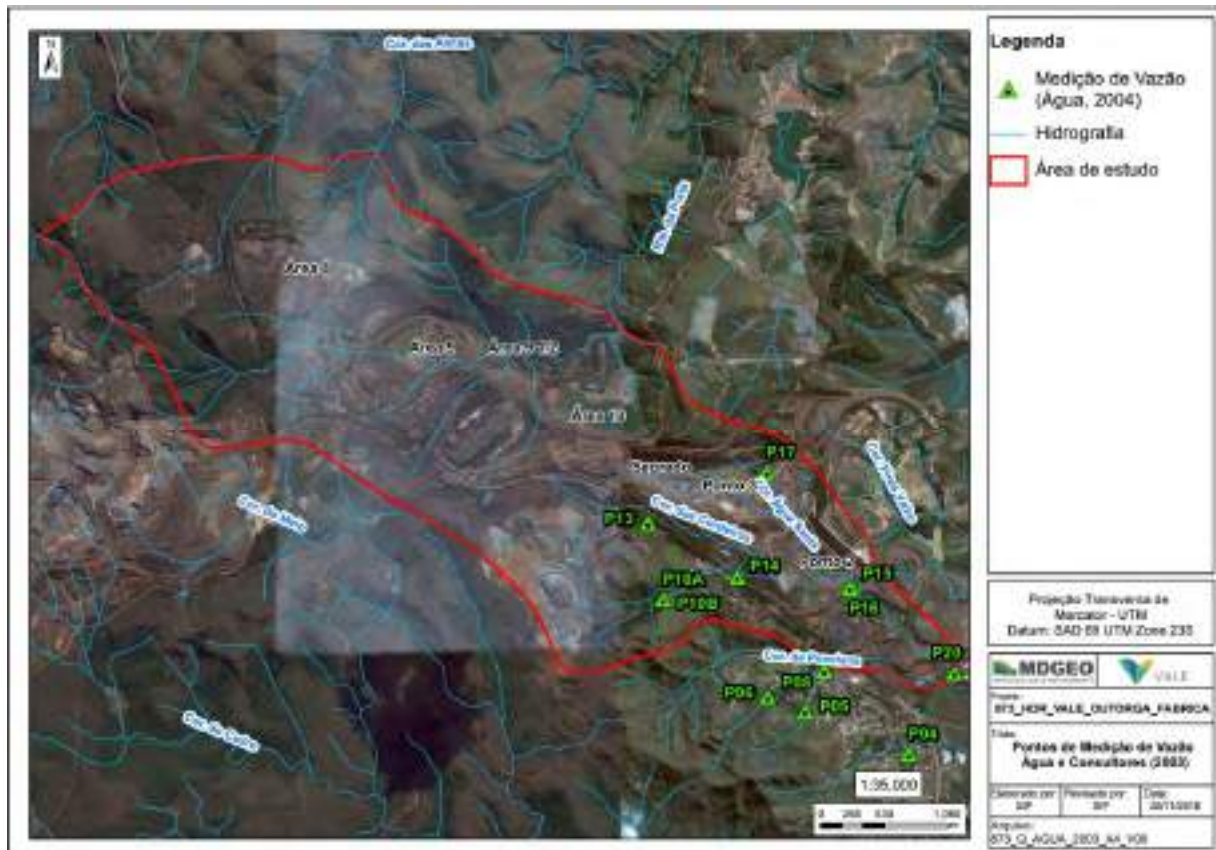
### 5.3.3 Campanha de medição de vazão Água (2003)

Além dos dados acima descrito, existem registros de uma campanha de medições vazões, realizada pela ÁGUA Consultores em maio de 2003, nos cursos d'água e nascentes no entorno das cavas Segredo, Ponto 3 e Ponto 2. A Tabela 5.9 apresenta os dados desses pontos que se encontram plotados no mapa da Figura 5.17.

Esta campanha foi realizada em meados de maio, portanto as vazões medidas ainda englobam o recesso do período chuvoso. De todos os pontos medidos o mais importante é o ponto P20, correspondente à nascente denominada Água Santa, com vazão da ordem de 224 m<sup>3</sup>/h.

**Tabela 5.9: Pontos de medição de vazão ÁGUA (2004)**

Código	Curso d'água	Local	Coordenadas		Data	Vazão (l/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
			E-W	N-S			
P04			620844	7739073	13/5/2003	0,16	0,6
P05			619979	7739429	13/5/2003	0,31	1,1
P06			619666	7739548	13/5/2003	0,74	2,7
P08	Cór. Ponciana		620139	7739769	13/5/2003	12,97	46,7
P10A	Cór. Cordeiros		618789	7740364	13/5/2003	13,92	50,1
P10B	Cór. Cordeiros		618789	7740364	13/5/2003	24,08	86,7
P13		BR-040	618664	7741004	14/5/2003	3,09	11,1
P14			619410	7740550	14/5/2003	3,37	12,1
P15			620375	7740448	14/5/2003	5,56	20,0
P16	Água Santa	Montante	620348	7740459	14/5/2003	30,42	109,5
P17	Água Santa	Nascente	619657	7741432	14/5/2003	1,04	3,7
P20	Nascente	Itaminas	621225	7739750	14/5/2003	62,39	224,6



**Figura 5.17: Pontos de medição de vazão – Água Consultores (2004).**

## 5.4 POÇOS E SISTEMA DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

Os primeiros poços profundos perfurados na Mina Fábrica na década de 90, quando as áreas pertenciam a Ferteco e Itaminas. No entanto, o bombeamento efetivo dos poços para o rebaixamento do nível d'água subterrâneo das cavas, registrado pela Vale, iniciou-se somente ao final de 2005 (novembro-2005).

Foram perfurados até junho de 2018 um total de 33 poços profundos em toda a área do empreendimento (sem levar em consideração a cava de João Pereira, fora da área de estudo), entretanto em junho de 2018 apenas 21 deles encontravam-se em funcionamento, e 1 estava prestes a iniciar a operação, programada para janeiro de 2019. Além disso, já está prevista a construção de mais um poço com início de operação prevista para março de 2019.

Dos 33 poços cadastrados, 3 foram perfurados no entorno da cava da Área 9, 7 na área 9 ½, 2 na Área 10, 7 na cava Segredo, 6 na cava Ponto 3, e 8 na cava Ponto 2. O monitoramento de vazão nesses poços, segundo os dados disponibilizados, é

realizado mensalmente a partir do registro do volume global bombeado e as horas trabalhadas por poço.

As características dos poços de bombeamento presentes na área em estudo estão apresentadas na Tabela 5.10 e suas localizações na Figura 5.18.

A Figura 5.19 a seguir mostra a evolução da vazão global de água subterrânea produzida mensalmente pelos poços tubulares profundos presentes na área da Mina de Fábrica (sem considerar os poços localizados em João Pereira), obtida a partir do banco de dados disponibilizado, evidenciando o início de operação dos poços até então perfurados.

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**
**Tabela 5.10: Dados cadastrais dos poços de bombeamento - Mina de Fábrica.**

Poço	Cava	Coordenas UTM SAD 69		Cota topo. Atual (m)	Situação	Prof. (m)	Prof. NE (m)	Prof. ND (m)	Qini m³/h	Qesp. m³/h/m	Início da Operação	Fim da Operação	Objetivo	
		E-W	N-S											
PTP-02	Área 9	616963.48	7742559.89	1153.39	Inativo	150.94	-	39.95	148.00	-	nov-05	ago-11	Abastecimento	
PTP-03		616553.86	7742484.25	1165.86	Ativo	152.80	-	110.53	66.00	-	nov-05	Em operação	Abastecimento	
PTP-04		616792.68	7742597.70	1135.16	Inativo	131.30	14.00	21.00	336.70	48.10	nov-05	dez-07	Abastecimento	
PTP-28/13	Área 9 1/2	617485.52	7742367.40	1105*	Inativo	100.00	-	-	-	-	set-14	dez-16	Rebaixamento	
PTP-29/13		617214.92	7742466.30	1145*	Ativo	100.00	-	-	-	-	dez-14	Em operação	Rebaixamento	
PTP-32/15		617676.00	7742273.00	1118*	Ativo	-	-	-	-	-	out-15	Em operação	Rebaixamento	
PTP-34/16		617253.00	7742449.00	1130.00	Ativo	-	-	-	-	-	jan-18	Em operação	Rebaixamento	
PTP-35/17		617473.00	7742252.00	1145.00	Ativo	-	-	-	-	-	jan-18	Em operação	Rebaixamento	
PTP-37/17		617241.00	7742535.00	1138.69	Ativo	-	-	-	-	-	mai-18	Em operação	Rebaixamento	
PTP-38-17		617437.00	7742385.00	1102.88	Ativo	-	-	-	-	-	-	-	Novo	Rebaixamento
PTP-15		Área 10	618592.24	7741774.72	1141.46	Ativo	151.00	-	-	-	-	jun-08	Em operação	Rebaixamento
PTP-20/10	617815.00		7742143.00	1135*	Ativo	200.00	-	-	-	-	mar-11	Em operação	Rebaixamento	
PTP-06	Segredo	619215.91	7741446.00	1096.92	Ativo	140.00	0.00	42.00	195.00	4.64	nov-05	Em operação	Rebaixamento	
PTP-08		618882.45	7741530.98	1121.38	Ativo	98.20	18.89	54.75	54.00	1.51	nov-05	Em operação	Rebaixamento	
PTP-09		618687.80	7741564.37	1148.00	Ativo	113.20	34.62	70.20	98.00	2.75	nov-05	Em operação	Rebaixamento	
PTP-10		618754.06	7741503.59	1103.99	Inativo	70.00	21.75	38.50	12.00	0.72	nov-05	fev-12	Rebaixamento	
PTP-11		618502.98	7741598.19	1161.30	Inativo	152.00	24.93	89.70	7.50	0.12	nov-05	abr-11	Rebaixamento	
PTP-12		619105.19	7741500.48	1119.28	Inativo	108.00	8.57	78.31	6.00	0.09	nov-05	jun-13	Rebaixamento	
PTP-33/16		618968.00	7742592.00	1175.00	Ativo	-	-	-	-	-	-	-	Em operação	Rebaixamento
PTP-07		Ponto 3	619351.99	7741245.89	1096.63	Inativo	151.40	19.00	-	18.00	-	out-08	fev-12	Rebaixamento
PTP-13	619573.91		7741181.22	1113.66	Inativo	120.60	23.60	91.86	20.30	0.30	mai-06	abr-10	Rebaixamento	
PTP-18	619401.92		7741521.85	1102.43	Ativo	162.00	-	-	-	-	set-09	Em operação	Rebaixamento	
PTP-21/10	619328.92		7741413.87	1088.69	Ativo	118.45	-	-	-	-	jul-15	Em operação	Rebaixamento	
PTP-30/14	619285.59		7741340.04	1095.00	Ativo	140.00	-	-	-	-	jun-15	Em operação	Rebaixamento	
PTP-36/17	619237.00		7741283.00	1095.48	Ativo	-	-	-	-	-	-	Em operação	Rebaixamento	
PTP-16	Ponto 2	620239.66	7740633.18	1030.89	Inativo	157.72	-	-	-	-	jan-08	out-12	Rebaixamento	
PTP-17		620139.19	7740715.01	1027.77	Inativo	196.90	-	-	-	-	mai-10	set-12	Rebaixamento	
PTP-19/10		619842.03	7740968.37	1080.27	Ativo	138.00	8.00	100.00	40.00	0.43	jun-10	Em operação	Rebaixamento	
PTP-22/11		619947.48	7740770.58	1002.00	Ativo	161.50	-	-	-	-	mar-12	Em operação	Rebaixamento	
PTP-23/12		620201.09	7740534.57	994.00	Ativo	200.00	-	-	-	-	jun-12	Em operação	Rebaixamento	
PTP-24/12		619775.17	7740789.67	1083.00	Inativo	150.00	-	-	-	-	-	-	Nunca bombeou	Rebaixamento
PTP-26/13		620291.00	7740597.00	1009.00	Ativo	135.00	-	-	-	-	ago-14	Em operação	Rebaixamento	
PTP-27/13		620078.00	7740730.00	1008.00	Ativo	150.00	-	-	-	-	ago-14	Em operação	Rebaixamento	

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA



Figura 5.18: Localização dos poços de bombeamento - Mina de Fábrica.



ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

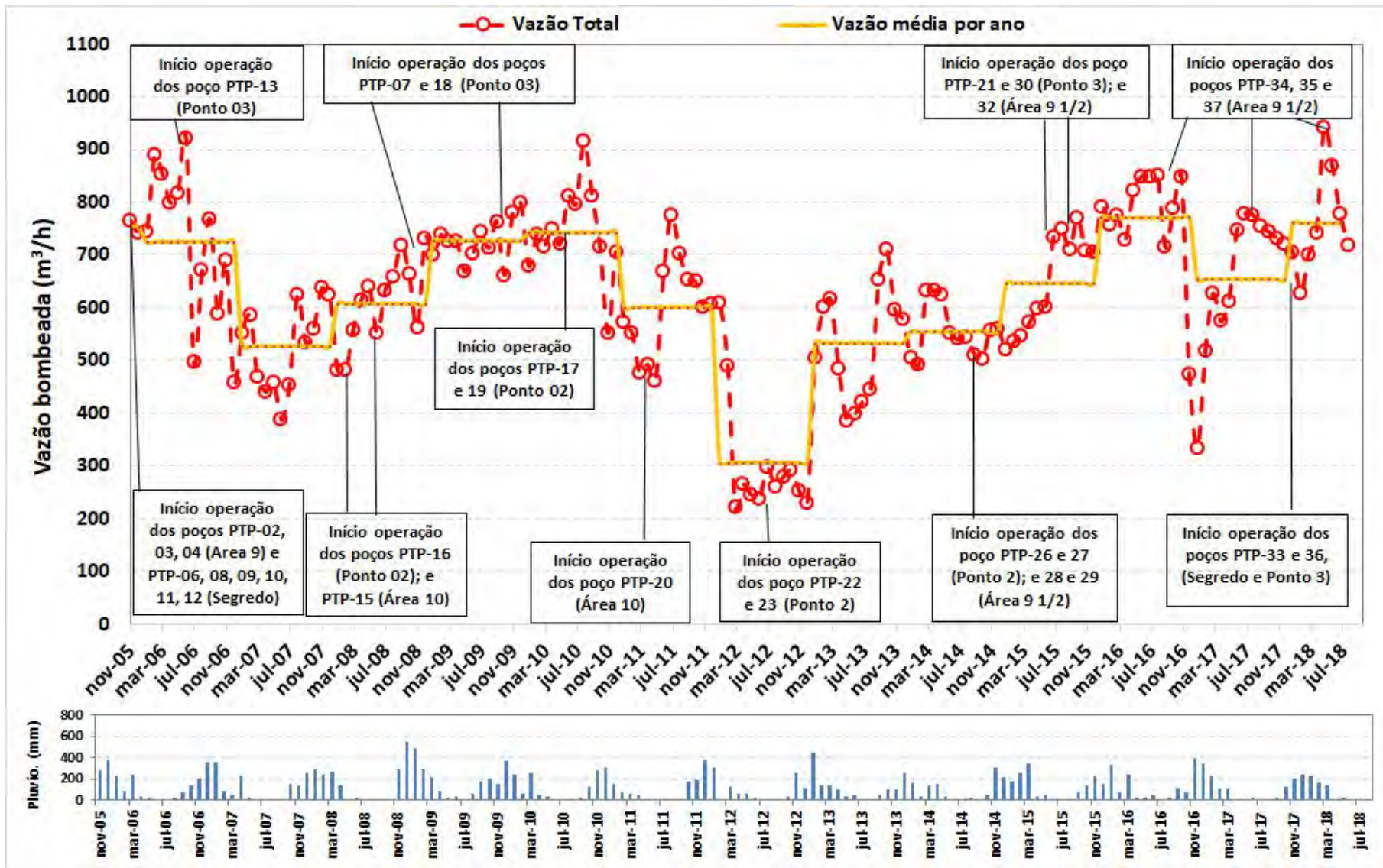


Figura 5.19: Vazão global de bombeamento e ordem cronológica do início da operação dos poços tubulares.

Com base no histórico mostrado, a média da vazão global explotada atualmente na Mina de Fábrica é da ordem de 760 m<sup>3</sup>/h. A vazão máxima até então atingida pelo sistema de rebaixamento foi de 942 m<sup>3</sup>/h e ocorreu em maio de 2018, a partir da construção e operação de novos poços, principalmente do PTP-37. A vazão mínima, de 220 m<sup>3</sup>/h, foi registrada em março de 2012.

Adiante, o histórico de vazões produzidas pelo sistema de desaguamento da Mina de Fábrica é apresentado por área de cava, lembrando que na área 8 ainda não existem poços de bombeamento.

#### 5.4.1 Área 9

Na área 9 foram construídos apenas 3 poços, sendo que 2 deles encontram-se inativos (PTP-02 e 04), e 1 mantém-se em operação desde novembro de 2005. Com a paralização dos poços PTP-04 (dez-2007) e PTP-02 (ago-2011), a vazão de bombeamento reduziu para uma média aproximada de 60 m<sup>3</sup>/h ao final de 2011, e atualmente bombeia-se em média 75 m<sup>3</sup>/h.

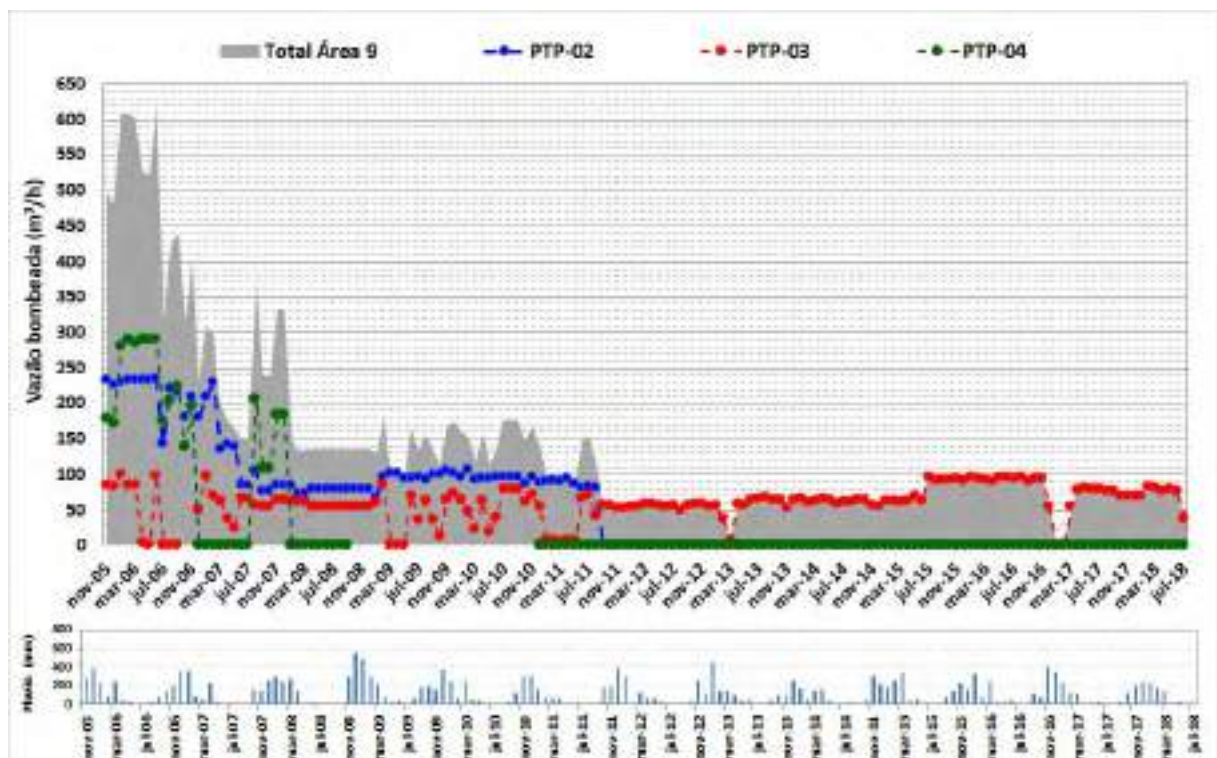


Figura 5.20: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na Área 9.

### 5.4.2 Área 9 ½

Conforme listado na Tabela 5.10, até então foram perfurados 7 poços no contexto da Área 9 ½, 1 encontra-se inativos(PTP-28/13), e 5 em operação (29/13, 32/15, 34/16, 35/17 e 37/17), e 1 não iniciou o bombeamento (PTP-38/17). Até meados de 2015 a vazão explotada dessa área variava era da ordem de 20 m<sup>3</sup>/h. Em 2016, com a inclusão do PTP-32/15 a vazão de bombeamento aumentou para uma média aproximada de 100 m<sup>3</sup>/h, e após a perfuração dos novos poços, ente 2016 e 2018, observa-se atualmente uma vazão média de 190 m<sup>3</sup>/h, sendo que em mio de 2018 foi registrada uma vazão global de 331 m<sup>3</sup>/h, conforme mostra a Figura 5.21.

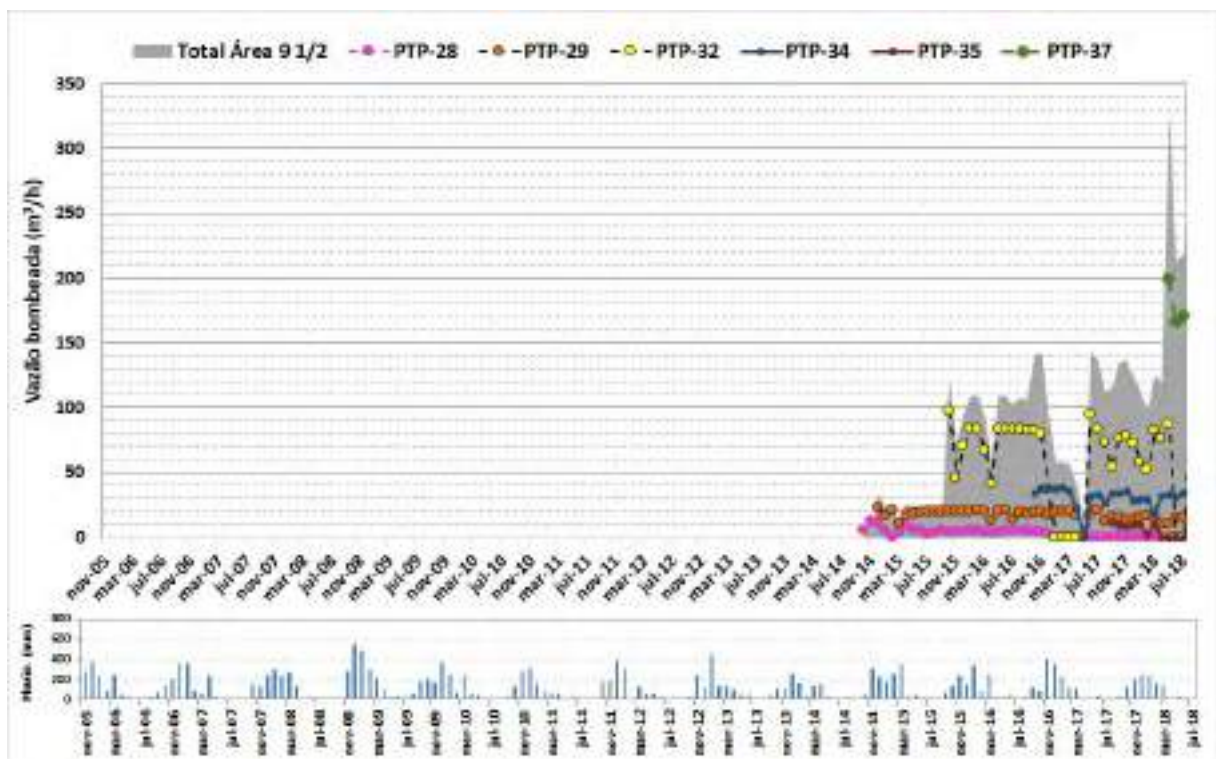


Figura 5.21: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na Área9 ½.

### 5.4.3 Área 10

Na Área 10 foram construídos apenas 2 poços, ambos em operação (PTP-15 e 20/10). Conforme mostra a Figura 5.22, o bombeamento no contexto desta cava tem início em meados de 2008, sendo que até final de 2010 a vazão explotada variou entre 5 e 30 m<sup>3</sup>/h. Após a perfuração do PTP-20/10, em 2011, a produção de água subterrânea aumentou, variando entre 70 e 130 m<sup>3</sup>/h. Em 2018, até o mês de junho, foi bombeado uma vazão global média de 85 m<sup>3</sup>/h.

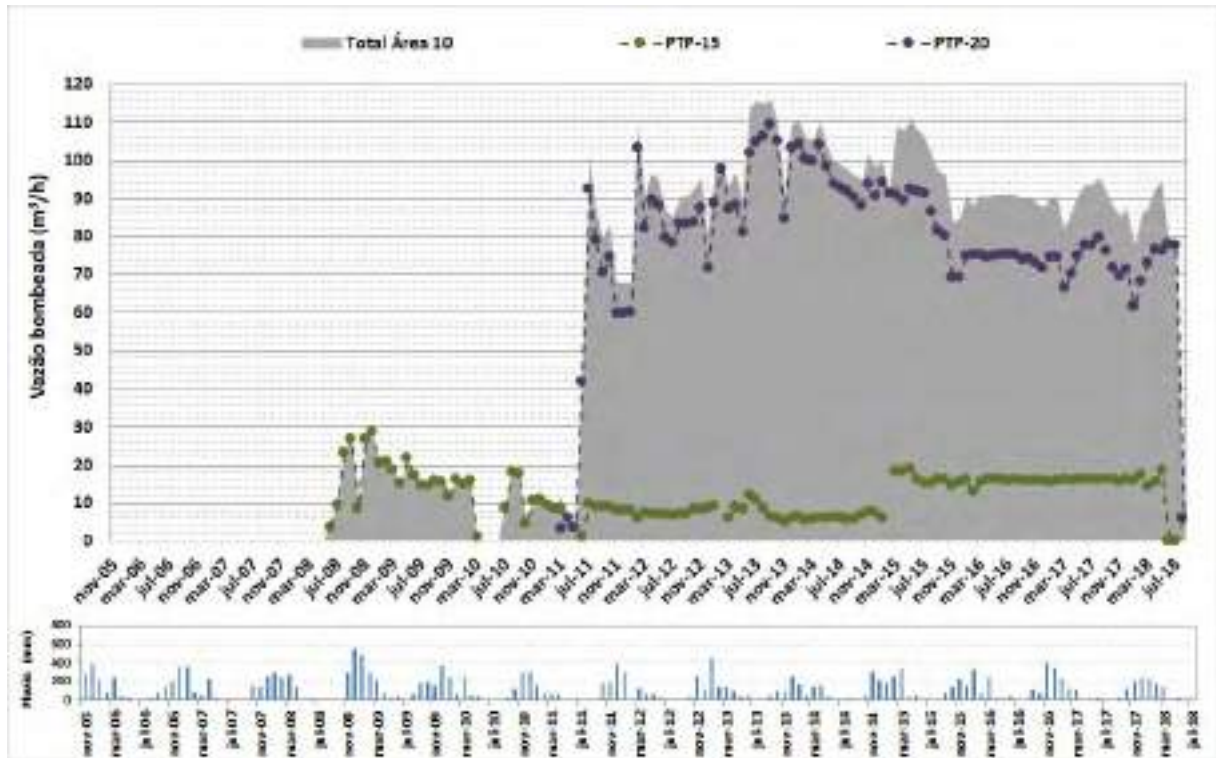


Figura 5.22: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na Área 10.

#### 5.4.4 Segredo

Na área do Segredo, os primeiros registros de bombeamento datam de novembro de 2005. Nesta foram construídos 7 poços, sendo que 4 permanecem operando (PTP-06, 08, 09 e 33), e 3 encontram-se inativos (PTP-10, 11 e 12).

Conforme mostra a Figura 5.23, entre os anos de 2005 e 2011, as vazões globais produzidas pelo sistema de rebaixamento variaram entre 150 e 420 m³/h. No ano de 2012, com a paralização temporária do poço PTP-06, que sozinho produz em média aproximadamente 60% do total de o bombeamento nessa cava, a vazão foi reduzida para valores inferiores a 100 m³/h. Após a retomada do bombeamento no poço supracitado no início do ano de 2013, vem-se produzindo valores de vazão global entre 200 e 350 m³/h, sendo que a média em 2018 (até junho) foi de aproximadamente 220 m³/h.

No gráfico evidente a discrepância entre os valores bombeados pelo poço PTP-06 e demais poços existentes na área. Este poço foi por muito tempo jorrante, e acredita-se que boa parte da água produzida pelo mesmo tenha origem em porções carstificadas do dolomito sotoposto a Formação Ferrífera.

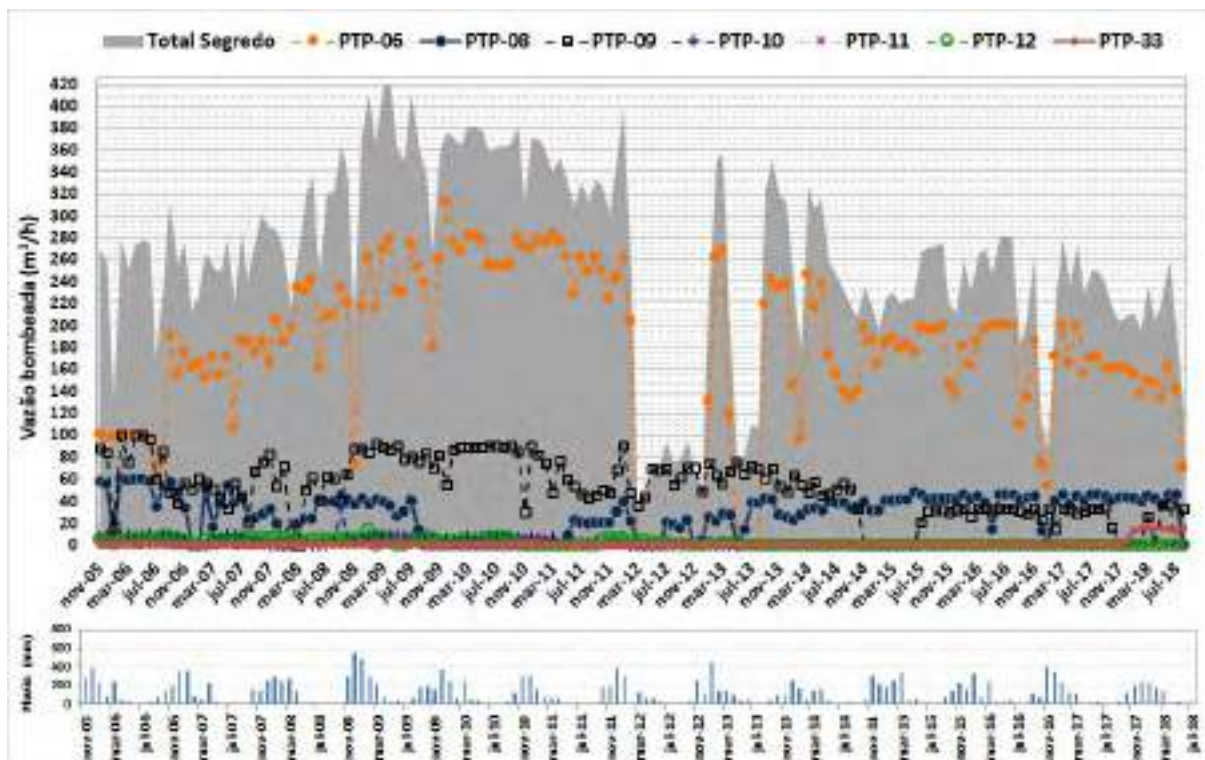


Figura 5.23: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na cava Segredo.

#### 5.4.5 Ponto 3

Na cava do Ponto 3 foram construídos 6 poços até então, dentre os quais 4 encontram-se operando (PTP-18, 21, 30 e 36) e dois estão inativos (PTP-07 e 13). O bombeamento no contexto desta cava tem início no ano de 2006 (ver Figura 5.24 a seguir), operando apenas com os poços PTP-07 e PTP-13 até julho de 2009, e produzindo nesse período entre 5 e 30 m<sup>3</sup>/h.

O início da operação do poço PTP-18 aumentou à produção global a partir de setembro de 2009, a qual variou entre 10 e 120 m<sup>3</sup>/h até junho de 2015. Após a construção e operação dos poços PTP-21 e PTP-30, em julho de 2015, a vazão bombeada vaiou entre 100 e 210 m<sup>3</sup>/h. Segundo informações verbais (VALE), o poço PTP-21, localizado próximo ao PTP-06, também apresentou artesianismo.

No ano corrente, a vazão média bombeada pelos poços instalados na cava do Ponto 3 foi da ordem de 170 m<sup>3</sup>/h.

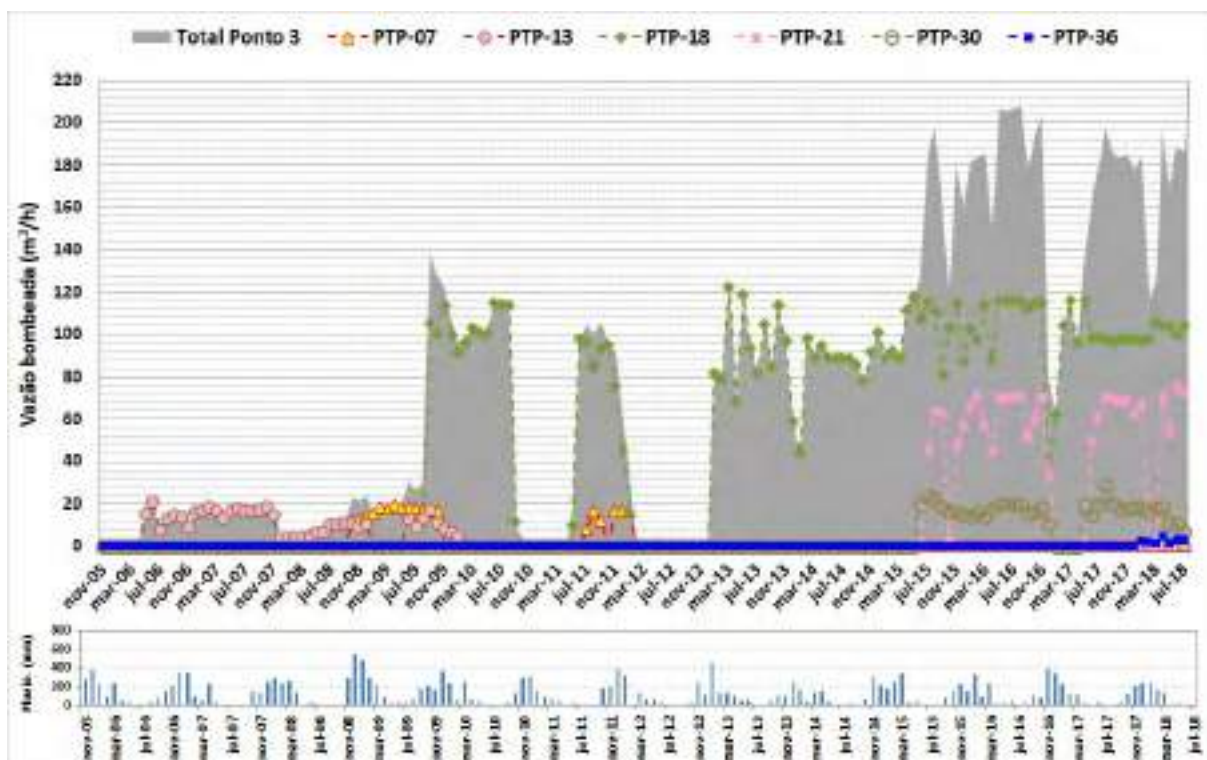


Figura 5.24: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na cava Ponto 3.

#### 5.4.6 Ponto 2

Na cava do Ponto 2 foram construídos 8 poços, dentre os quais 2 encontram-se inativos (PTP-16 e 17), 5 em operação (PTP-19/10, 22/11, 23/12, 26/13 e 27/13), e 1 nunca operou (PTP-24). Conforme mostra a Figura 5.25, o bombeamento no contexto desta cava tem início em 2008, com a operação apenas do poço PTP-16 até abril de 2010, tendo a vazão variado entre 35 e 180 m<sup>3</sup>/h. Entre maio de 2010 e janeiro de 2012, período no qual estavam ativos os poços PTP-16, 17 e 19, foram produzidos entre 30 e 240 m<sup>3</sup>/h de água subterrânea. Posteriormente a taxas de bombeamento estiveram entre 25 e 70 m<sup>3</sup>/h, sendo que em 2018 o valor médio foi de 50 m<sup>3</sup>/h.

Além de poços de bombeamento, o desaguamento da cava do Ponto 2, ocorre por meio drenos horizontais profundos (DHPs) e bombeamento em *sump*. Em 2016, havia registros de 33 DHPs construídos na área em questão, destes 7 haviam sido destruídos e 26 estavam em operação. Com relação ao *sump*, a vazão bombeada no mesmo não é objeto de monitoramento contínuo. Pontualmente, segundo informações disponibilizadas pela contratante, foram registradas vazões de 183 m<sup>3</sup>/h (dia 04/05/16), 206 m<sup>3</sup>/h (dia 6/7/16), e 225 m<sup>3</sup>/h (dia 2/8/16). Lembrando que, atualmente,

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

o *bottom pit* desta cava encontra-se na cota 976 metros, completamente preenchido por água.

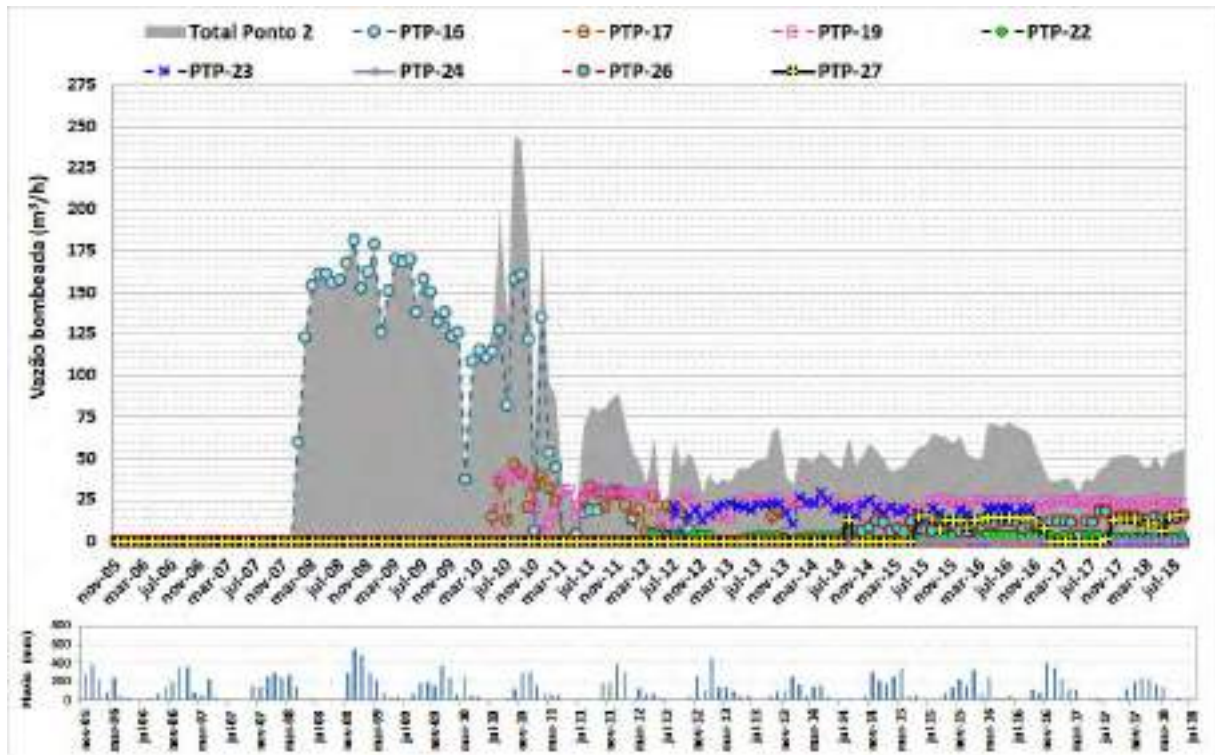


Figura 5.25: Vazões de bombeamento dos poços tubulares localizados na cava Ponto 2.

## 6 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

### 6.1 INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

O primeiro inventário de pontos d'água registrado na área em estudo foi realizado em 2004 pela Água Consultores tendo como foco o entorno das cavas Segredo, Ponto 3 e Ponto 2; e um segundo foi desenvolvido pela GOLDER (2007) centrado no entorno das áreas de João Pereira, Áreas 8 e 9. As nascentes inventariadas nos dois inventários supracitados são listadas na Tabela 6.1 a seguir e a localização das mesmas é apresentada Figura 6.1.

**Tabela 6.1: Nascentes inventariadas por GOLDER (2007) e Água (2004)**

Nome	Litotipo	UTM-X	UTM-Y	Cota (m)
NA-6	Gp.Piracicaba	613991	7740071	1310
NA-7	Gp.Piracicaba	614068	7740170	1315
NA-8	FilitoStºAnt	614160	7739773	1270
NA-9	FilitoStºAnt	614241	7740614	1340
NA-10	FilitoStºAnt	615936	7741202	1270
NA-11	FilitoStºAnt	616405	7740962	1260
NA-12	FilitoStºAnt	616379	7740869	1260
NA-13	FilitoStºAnt	615546	7740893	1270
NA-14	FilitoStºAnt	615559	7740898	1270
NA-15	FilitoStºAnt	615571	7740892	1270
NA-51	Form.Cauê	614011	7742816	1330
NA-57	Gp.Piracicaba	614125	7743603	1260
NA-58	Gp.Piracicaba	614309	7743908	1250
NA-60	Gp.Piracicaba	617277	7743530	1180
NA-61	Gp.Piracicaba	617540	7743255	1180
NA-62	FilitoStºAnt	617283	7738662	1150
NA-63	FilitoStºAnt	617176	7739045	1170
NA-64	FilitoStºAnt	617029	7738924	1160
NA-65	FilitoStºAnt	616961	7738898	1150
NA-66	FilitoStºAnt	617076	7739409	1175
NA-67	FilitoStºAnt	616290	7739717	1200
NA-68	FilitoStºAnt	616179	7739651	1170
NA-69	FilitoStºAnt	616899	7739861	1230
NA-70	FilitoStºAnt	615832	7739740	1220
NA-71	FilitoStºAnt	615582	7739732	1210
NA-72	FilitoStºAnt	615530	7739729	1210
NA-73	Gp.Piracicaba	618050	7743400	1190
NA-74	Gp.Piracicaba	616927	7743329	1200
NA-75	Gp.Piracicaba	617066	7742945	1150
NA-76	Gp.Piracicaba	617045	7743121	1160
NA-77	Gp.Piracicaba	616992	7743151	1160
NA-78	Gp.Piracicaba	616967	7743217	1170
NA-79	Gp.Piracicaba	616935	7743140	1180
NA-80	Gp.Piracicaba	616936	7743157	1180
NA-81	Gp.Piracicaba	615969	7744056	1270
NA-82	Gp.Piracicaba	616003	7743952	1240
NA-83	Gp.Piracicaba	616114	7744005	1230
NA-84	Form.Cauê	617233	7741383	1190
NA-85	Form.Cauê	617123	7741148	1210



**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

Nome	Litotipo	UTM-X	UTM-Y	Cota (m)
NA-86	Form.Cauê	617296	7741078	1210
NA-87	FilitoStºAnt	617443	7741439	1190
NA-88	FilitoStºAnt	617153	7739981	1200
NA-89	FilitoStºAnt	617220	7740038	1180
NA-90	FilitoStºAnt	617210	7740113	1170
NA-91	FilitoStºAnt	617192	7740124	1170
NA-92	FilitoStºAnt	617198	7740118	1250
NA-93	FilitoStºAnt	616983	7740583	1250
NA-94	FilitoStºAnt	616996	7740565	1203
NA-95	Gp.Piracicaba	616476	7743626	1220
NA-96	Gp.Piracicaba	616136	7743601	1185
NA-97	Gp.Piracicaba	615968	7743581	1200
NA-98	-	620844	7739073	-
NA-99	-	619979	7739429	-
NA-100	-	619666	7739548	-
NA-101	-	620139	7739769	-
NA-102	-	618789	7740364	-
NA-103	-	618664	7741004	-
NA-104	-	619410	7740550	-
NA-105	-	620375	7740448	-
NA-106	-	620348	7740459	-
NA-107	-	619657	7741432	-
NA-108	-	621225	7739750	-
NA-109	-	621225	7739750	-
NA-110	-	617486	7742395	-
NA-111	-	614005	7742950	-
NA-112	-	614005	7742890	-

**Fonte: compilado de Hidrovia e Potamos (2013).**

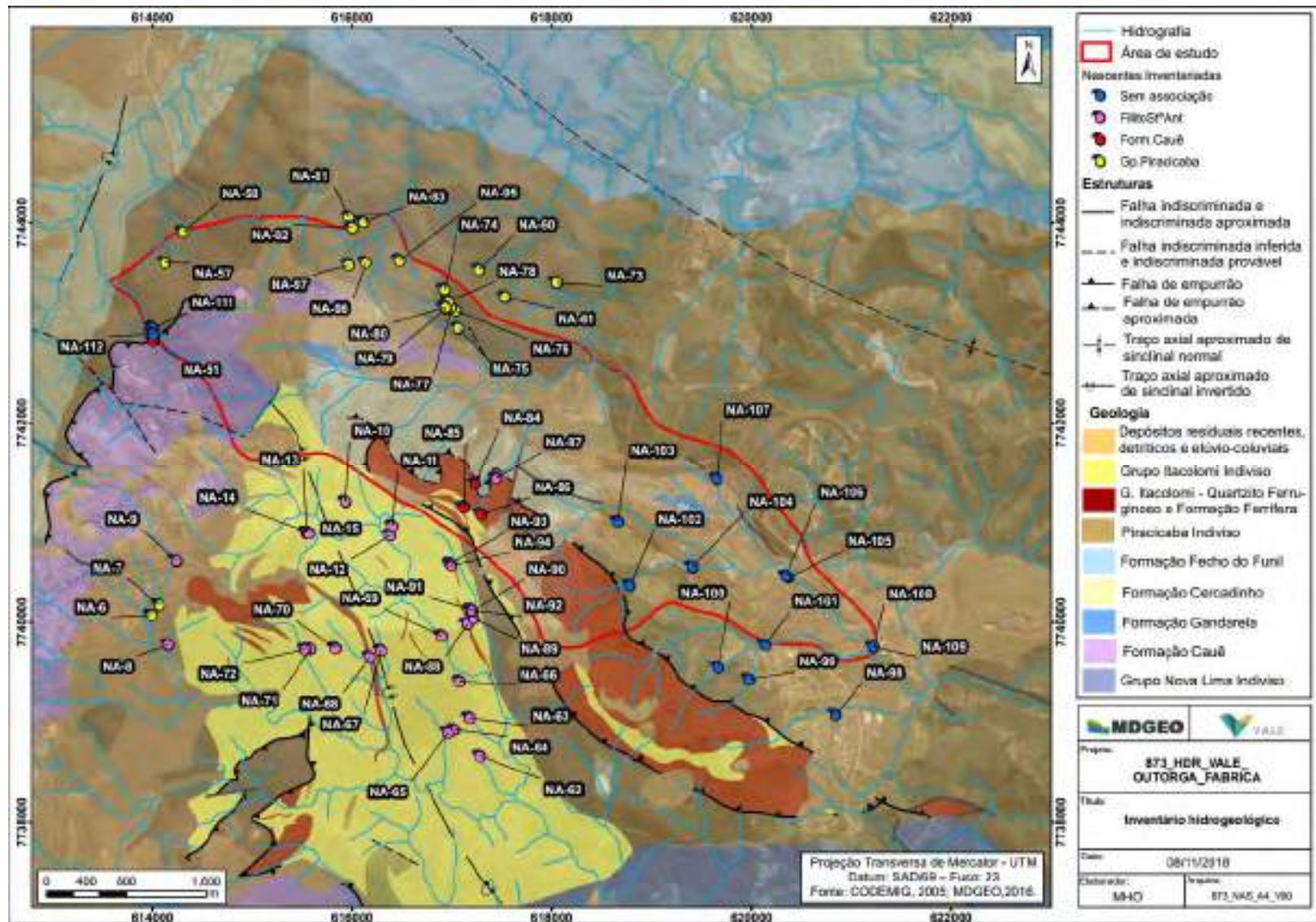


Figura 6.1: Localização nascentes inventariadas na área em estudo – Inventários GODER (2007) e Água (2004).

No inventário da ÁGUA (2004) foram levantadas 08 nascentes, além de 24 pontos relacionados ao uso d'água e interferência nos cursos d'água. Entre as 8 nascentes cadastradas, destacam-se as nascentes que ocorrem no vale do córrego Água Santa, as quais, provavelmente estão associadas a Formação Cauê.

A principal delas, com vazão de 224 m<sup>3</sup>/h (ÁGUA, 2004) localizada na margem esquerda do córrego Água Santa, baixo curso, (Ponto S-20), constitui a principal área de descarga identificada na área. O ponto S-20 é conhecido como nascente Água Santa, situa-se na área da NAMISA, sendo um ponto de captação de água. Segundo informações verbais da VALE, a NAMISA iniciou o monitoramento de vazão desta nascente em meados de 2012 quando sua vazão média estava em torno de 280 m<sup>3</sup>/h, ou seja, vazão acima daquela citada por (ÁGUA, 2004).

O inventário de nascentes da GOLDER cadastrou um total de 97 pontos, sendo alguns deles secos. O início do levantamento de campo foi em agosto de 2004. A área levantada teve como foco a cava João Pereira, não sendo percorrido o entorno das cavas de Segredo, Ponto 3 e Ponto 2. Praticamente não foram cadastrados pontos no domínio geológico da formação ferrífera (GOLDER, 2007).

De todos os pontos levantados, o que apresentou maior vazão foi o 87, que corresponde à nascente Jacutinga. Segundo a ficha de cadastro, a nascente Jacutinga situa-se na propriedade da VALE, e possui grande vazão que contribui para a formação de um pequeno lago (GOLDER, 2007).

Com relação ao Ribeirão da Prata, as nascentes cadastradas por GOLDER (2007) apresentaram baixas vazões individualmente. No trabalho elaborado pela MDGEO em 2012, cita-se a nascente Horta, sendo apontada uma vazão da ordem de 20 m<sup>3</sup>/h. Segundo informações da Vale, é dado o nome de nascente Horta, justamente, ao conjunto de nascentes inventariadas pela GOLDER, cuja vazão é monitorada a jusante pelo vertedouro FAB\_VZ-76-08 (vide item 5.3).

Existem ainda dados de um terceiro inventário conduzido pela MDGEO em 2015, o qual contemplou apenas os córregos do Meio e Cedro, ambos contemplados no inventário realizado por GOLDER (2007), e localizados fora dos limites da área de estudo.

## 6.2 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

O modelo hidrogeológico conceitual busca definir as unidades hidrogeológicas presentes no contexto estudado, suas características hidrodinâmicas, e condições de circulação da água subterrânea (recarga, fluxo e descargas), sendo base para a elaboração do modelo numérico. O modelo conceitual da área da Mina de Fábrica, o qual contempla as áreas das cavas 8, 9, 9 ½, 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2, foi revisado e atualizado pela MDGEO em 2016 (MDGEO, 2017), e será apresentado nos itens seguintes.

### 6.2.1 Unidades Hidrogeológicas

A definição das unidades hidrogeológicas está diretamente relacionada com as unidades litoestratigráficas mapeadas, as quais são descritas a seguir.

#### **Unidade hidrogeológica da formação ferrífera**

Constituído pelas hematitas e itabiritos da Formação Cauê, compreende a unidade hidrogeológica na qual ocorre a lavra do minério de ferro na Mina de Fábrica. Comumente denominado de Sistema Aquífero Cauê, representa o principal aquífero da região de estudo, assim como de todo o Quadrilátero Ferrífero.

A dissolução das bandas carbonatadas e ou silicosas dos itabiritos, gerou as hematitas. Tanto as hematitas como os itabiritos são classificados como friáveis ou compactos conforme as suas características físicas.

As rochas friáveis representam uma porção aquífera com porosidade intersticial, o que lhe confere elevada capacidade de armazenamento. As rochas compactas apresentam porosidade fissural que proporcionam uma elevada condutividade hidráulica.

De maneira geral, tanto as rochas friáveis e compactas desta unidade apresentam boas características aquíferas, tanto com relação à porosidade como com relação à condutividade hidráulica.

Nas cavas 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2, predominam os itabiritos e hematitas friáveis, sendo pouco expressivo a presença das rochas compactas. Já nas Área 8 e 9 a presença do itabirito compacto é bem marcante.

A unidade hidrogeológica da formação ferrífera apresenta também porções com minerais mais argilosos e conseqüentemente com características aquíferas diminutas. Na mina de Fábrica são mapeadas regiões com itabirito argiloso, itabirito manganífero e itabirito dolomítico. O itabirito argiloso aparece mais frequente na cava Segredo e na Área 9, o itabirito manganífero entre a cava Ponto 2 e Ponto 3, e o itabirito dolomito, nas cavas Segredo e Ponto 3.

Na região a geometria da unidade hidrogeológica da formação ferrífera apresenta uma certa complexidade geológica. De maneira geral a camada de formação ferrífera ocupa o centro de uma estrutura anticlinal sinfórmica de direção NW-SE, com caimento do eixo para SE. Desta forma a formação ferrífera encontra-se fechada em profundidade (sem continuidade). Na Área 8 chega a 800 metros de profundidade e na Área 9 a 950 metros; na Área 10 chega a 880 metros; nas cavas Segredo e Ponto 3 atinge profundidades máximas em torno de 950 metros, e na cava Ponto 2 chega a profundidade de 850 metros.

Sua espessura aparente varia bastante chegando a atingir mais de 500 metros nas regiões da cava do Ponto 3 e da Área 8. Na cava Ponto 2 sua espessura é em torno de 200 metros.

Existe também um estrangulamento da camada de formação ferrífera entre a cava Ponto 2 e a Ponto 3. Justamente neste local ocorre um itabirito manganífero bastante argiloso e, portanto, com baixa permeabilidade.

A unidade hidrogeológica da formação ferrífera encontra-se encaixada em xistos, filitos, dolomitos, e quartzitos ferruginosos.

Em termos hidroquímicos águas da formação ferrífera apresentam-se bastante desmineralizadas em função da baixa interação água-rocha.

### **Unidade hidrogeológica das rochas encaixantes**

Os mapeamentos locais apresentam algumas divergências no que se refere à designação dadas as rochas encaixantes da formação ferrífera. Em virtude disso, será considerada neste estudo uma unidade hidrogeológica única para as rochas encaixantes.

O mapeamento da VALE indica como xisto todas as rochas encaixantes da formação ferrífera, sendo também mapeado uma espessa camada de dolomito e itabirito dolomítico no contato de lapa da formação ferrífera com o xisto. São também mapeados corpos de quartzitos ferruginosos, por vezes intercalados com os itabiritos da formação ferrífera.

Alguns estudos regionais indicam a existência da Formação Cercadinho como encaixante da formação ferrífera.

Desta forma, a unidade hidrogeológica das encaixantes engloba desde xistos e filitos, até quartzitos, quartzitos ferruginosos, itabiritos dolomíticos e dolomitos.

Os xistos e filitos constituem um meio de permeabilidade muito baixa, com fluxo e armazenamento d'água muito restrito, associado às discontinuidades da rocha (fraturas, foliação, falhas). São considerados, via de regra, como aquícludes ou aquitardos. Quando alterados apresentam-se mais argilosos e com fraturas preenchidas, funcionando como barreiras hidráulicas. A salinidade das águas dos xistos e filitos é bastante variada em função da composição mineralógica da rocha, mas em geral sua condutividade elétrica não ultrapassa 50 microS/cm.

Os quartzitos e quartzitos ferruginosos possuem características hidrodinâmicas variadas em função das suas propriedades físicas. Quando compactos e maciços apresentam apenas permeabilidade secundária, com baixa porosidade. Neste caso a condutividade hidráulica estará diretamente relacionada ao grau de faturamento da rocha. Quando friáveis apresentam-se em geral com melhores características aquíferas, possuindo uma boa porosidade e permeabilidade primária. É o caso dos quartzitos da Formação Cercadinho que são considerados bons aquíferos. As rochas da Formação Cercadinho apresentam boa salinidade com condutividade elétrica da ordem de 150 microS/cm.

Com relação às rochas dolomíticas, estas possuem características hidrodinâmicas relacionadas ao seu grau de carstificação. De maneira geral no Quadrilátero Ferrífero são poucos os casos conhecidos onde os dolomitos desenvolveram carstificação. Por isso os dolomitos nesta região são classificados em geral como aquícludes e/ou aquitardos. Um dos casos de carstificação refere-se a nascente de Fechos, próximo da Mina Capão Xavier na região metropolitana de Belo Horizonte. Trata-se de uma nascente pontual de elevada vazão ocorrendo em rochas

dolomíticas da Formação Gandarela, relacionada possivelmente a uma carstificação no eixo do Sinclinal Moeda. Sua condutividade elétrica é da ordem de 300 micro S/cm.

Na mina de Fábrica existem alguns indícios de possível carstificação dos dolomitos. Nos arredores da mina ocorrem duas nascentes pontuais de elevada vazão e condutividade elétrica entre 100 a 150 microS/cm, a saber a nascente Água Santa e a nascente Jacutinga. Outro indício é que o poço de maior vazão na mina (Poço 6) encontra-se perfurado quase em sua totalidade em itabirito dolomítico e dolomito e apresentou vazão da ordem de 300 m<sup>3</sup>/h. Esse poço apresenta também artesianismo quando desligado. Segundo informações verbais dos funcionários da VALE, foram encontrados indícios de cavernas durante a perfilagem deste poço. A condutividade elétrica das águas coletadas neste poço é da ordem de 150 microS/cm.

### **Unidade Hidrogeológica das coberturas**

Cobrindo a formação ferrífera e suas adjacências, destacam-se os depósitos de canga e rolado. Tratam-se aquíferos granulares, livres, descontínuos, muito heterogêneos e anisotrópicos. Apresentam elevada permeabilidade e capacidade de armazenamento.

Devido a sua pequena espessura não são considerados propriamente como aquíferos, sendo comumente denominados como aquíferos rasos. Têm um papel importante na recarga dos aquíferos sotopostos, dada à capacidade de infiltração rápida.

Na maioria das vezes, sequer chegam a se manter saturados no período seco, pois ocupam zonas de topografia mais elevada e, devido à alta permeabilidade, são rapidamente drenadas. Representam um fluxo hipodérmico, gerando nascentes no período chuvoso.

A unidade hidrogeológica das coberturas engloba também as aluviões, elúvios, colúvios, tálus e solos em geral. São também bastante heterogêneos, variando de composição e de características hidrodinâmicas. Regiões mais argilosas possuem menor capacidade de armazenamento e permeabilidade.

### **6.2.2 Parâmetros Hidrodinâmicos**

Para configurar e caracterizar as unidades hidrogeológicas presentes da área em questão, serão aqui apresentados os parâmetros hidráulicos (recarga,

condutividade hidráulica e armazenamento) obtidos com base em levantamentos na literatura, na experiência da MDGEO em modelar sistemas aquíferos presentes no Quadrilátero Ferrífero, e nos estudos hidrogeológicos anteriormente desenvolvidos para a área da Mina de Fábrica.

A Tabela 6.2 a seguir apresenta faixas de valores de condutividade hidráulica e armazenamento, segundo Fillipo (2003), para as unidades hidrogeológicas presentes na área em estudo, além os valores desses parâmetros obtidos na calibração do modelo numérico elaborado em 2012 pela MDGEO (MDGEO, 2012) para as cavas do Segredo/Ponto 3 e Ponto 2.

**Tabela 6.2: Intervalos de possíveis valores de condutividade hidráulica e armazenamento**

Unidades Hidrogeológicas	Litotipo característico	Faixa de Valores Típicos (Fillipo, 2003)			Valores modelo numérico (MDGEO, 2012)		
		Condutividade Hidráulica	Armazenamento		Condutividade Hidráulica	Armazenamento	
		K (m/dia)	Ss	Sy	K (m/dia)	Ss	Sy
Formação Ferrífera	Hematitas	0,09 a 10	0,0050 a 0,0005	0,08 a 0,15	0,2 a 3	0,0001	0,01 a 0,06
	Itabiritos Siliciosos	0,08 a 7	0,0001 a 0,0005	0,06 a 0,15	0,1 a 1,5	0,0001	0,1 a 0,04
	Itabiritos Anfibolíticos	0,075 a 1,5	0,0001 a 0,0005	0,03 a 0,10	-	-	-
	Itabiritos Dolomíticos	0,01 a 0,5	0,0001 a 0,0005	0,01 a 0,05	0,05	0,0001	0,1
Encaixantes	Quartzitos	0,09 a 0,9	0,0001 a 0,0005	0,03 a 0,06	0,25 a 0,5	0,0001	0,01
	Dolomitos	0 a 0,07	0,0001 a 0,0003	0,005 a 0,02	0,05	0,0001	0,01
	Xistos e Filito	0 a 0,08	0,0001 a 0,0003	0,001 a 0,01	0,01 a 0,03	0,0001	0,01
	Rochas Básicas	0 a 0,01	0,0001 a 0,0003	0,001 a 0,03	-	-	-
Coberturas	Cangas	1,5 a 4	0,0001 a 0,0003	0,005 a 0,20	2	0,0001	0,06

Conforme mostrado na tabela acima, as condições de armazenamento são definidas pelo armazenamento específico (*Specific Storage - Ss*) e pelo rendimento específico (*Specific Yield - Sy*), sendo o primeiro correspondente a sistemas aquíferos confinados e o segundo a sistemas livres. Os aquíferos confinados apresentam coeficientes de armazenamento entre  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ , enquanto que em aquíferos livres, o rendimento específico pode variar de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$ .

Com base nos valores de condutividade hidráulica apresentados por Fillipo (2003), observa-se uma faixa bastante abrangente para a Unidade Hidrogeológica da Formação Ferrífera. Estima-se que em média esse parâmetro seja da ordem de 1 m/dia, com valores mais elevados atribuídos às hematitas e itabiritos friáveis, e menores valores atribuídos às hematitas e itabiritos compactos. No entanto,



dependendo do grau de faturamento, as hematitas e itabiritos compactos podem apresentar uma grande variação nos valores de condutividade hidráulica.

Com base na retroanálise realizada em 2012 pela MDGEO, as hematitas e itabiritos presentes na área do modelo possuem condutividade hidráulica entre 0.05 e 3 m/dia. Uma característica importante do aquífero em questão, observada nos resultados da modelagem supracitada, é a anisotropia vertical e horizontal, sendo que as condutividades hidráulicas dos litotipos que constituem a formação ferrífera foram calibradas com valor duas vezes menor na direção x ( $K_y = K_z = 2K_x$ )

As rochas encaixantes apresentam valores relativamente inferiores de condutividade hidráulica, sendo que maiores valores para esse parâmetro são, geralmente, atribuídos aos quartzitos, para os quais a retroanálise supracitada retornou valores entre 0,25 e 0,5 m/dia. Para os xistos e dolomitos presentes na área, foram obtidos valores entre 0,01 e 0,05 m/dia.

Para as coberturas, são observados valores de condutividade hidráulica relativamente maiores, sendo que o modelo aponta para valores da ordem de 2 m/dia.

No trabalho realizado pela Água em 2004, foram encontrados valores de parâmetros hidrodinâmicos obtidos em ensaios de aquífero a partir do bombeamento do PTP-07 localizado na cava do Ponto 3, e monitoramento de níveis em instrumentos próximos. Segundo interpretação da própria Água, os resultados do teste indicaram um aquífero com forte heterogeneidade, com níveis semi-confinantes e, possivelmente, com corpos isolados ou com reduzida conexão hidráulica. Os valores mais prováveis de transmissividade devem situar-se entre 50 e 150 m<sup>2</sup>/dia, na área objeto das operações de rebaixamento. Os coeficientes de armazenamento obtidos foram da ordem de  $1,6 \times 10^{-3}$  e  $1,8 \times 10^{-3}$ , indicando também uma condição de semi-confinamento.

Em se falando de recarga, destaca-se o papel da unidade hidrogeológica das coberturas que consistem em um importante sistema de recarga dos aquíferos subjacentes. Estudos realizados pela MDGEO em regiões de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, apontam uma taxa de recarga entre 15 a 40% da precipitação pluviométrica para o Sistema Aquífero Cauê, sempre lembrando que a recarga corresponde a porção da precipitação que efetivamente recarrega o aquífero. Valores nessa ordem de grandeza também são apresentados por Mourão (op. cit.).

No modelo numérico elaborado pela MDGEO em 2012, foi obtida uma taxa de recarga de 410 mm/ano (31% da média plurianual do período chuvoso – dados 1974 a 2011 – 1323 mm/ano) para as áreas de Formação Ferrífera, e uma recarga duas vezes maior para as áreas de cava. Já no modelo elaborado em 2016 foi obtida uma taxa de recarga 418 mm/ano (32% da média plurianual do período chuvoso – dados 1974 a 2015 – 1306 mm/ano) para as áreas de Formação Ferrífera, mantendo-se a relação de duas vezes esse valor para as áreas de cava.

### 6.2.3 Condições de Fluxo de Água Subterrânea

Este estudo possui como foco o fluxo d'água subterrânea apenas na Unidade Hidrogeológica da formação ferrífera, por se tratar da principal unidade aquífera da área e onde se situa a mina.

Conforme citado anteriormente a unidade hidrogeológica da formação ferrífera apresenta-se na região como um corpo alongado na direção NW-SE com caimento para SE, acompanhando de certa forma a topografia. Está unidade encontra-se encaixada em rochas menos permeáveis, e em virtude disso o fluxo d'água subterrânea ocorre preferencialmente ao longo da própria formação ferrífera. No entanto, acredita-se que exista alguma interação do fluxo d'água entre a formação ferrífera e a unidade hidrogeológica das encaixantes.

Na região norte da área modelada (8 e 9) não se tem conhecimento de dados de nível d'água anteriores ao rebaixamento, mas avaliando os dados atuais, e admitido a continuidade do fluxo subterrâneo na unidade da formação ferrífera a partir da área da mina de João Pereira, acredita-se que o nível d'água subterrâneo nessa região parta de 1290 na porção mais a Oeste e chegue a 1140 metros na Área 9. Na área 9 ½ existe o cadastro da nascente Horta relacionada a formação ferrífera, cuja vazão reportada por Água (ÁGUA, 2004) é da ordem de 20 m<sup>3</sup>/h. Isso indica que de modo análogo à Área 10, parte do fluxo d'água subterrânea da Área 9 deve ser descarregado nas drenagens do Ribeirão da Prata e outra parte deve ter uma direção de fluxo para SE.

Na Área 10, o nível d'água inicial monitorado apresenta cotas em torno de 1110 metros, ou seja, um pouco inferior da própria cava Segredo, ressaltando que essa informação foi registrada após o início do desaguamento das cavas de Segredo e do Ponto 2, podendo retratar certa influência da atividade de rebaixamento.

Entre a cava Segredo e a Área 10 existe um importante divisor de bacia hidrográfica. Ao que tudo indica o fluxo d'água subterrânea na condição inicial também tenderia a acompanhar em parte esse divisor. Assim sendo parte do fluxo d'água na Área 10 seria descarregado nas drenagens do Ribeirão da Prata, através de uma interação do fluxo d'água subterrânea da formação ferrífera com as rochas encaixantes. Outra parte do fluxo seguiria em direção SE.

Na condição inicial da cava Segredo, antes de a Vale operar efetivamente o sistema de rebaixamento, os dados de piezometria indicavam níveis d'água em torno de 1130 metros. Esses níveis decaem suavemente em direção a cava ponto 3 que apresenta um nível inicial em torno de 1100 metros.

Esse descenso do nível d'água continua em direção a cava Ponto 2 cujos níveis d'água iniciais monitorados indicam cotas em torno de 1035 metros (dado este posterior a operação de rebaixamento realizado pelas empresas Itaminas e Ferteco).

A variação mais acentuada do nível d'água subterrâneo observada entre a cava Ponto 3 e a cava Ponto 2, mesmo antes do início do desaguamento, ocorre justamente onde há o estrangulamento da formação ferrífera. Trata-se, portanto, de uma região com menor condutividade hidráulica que promove uma diminuição da conexão hidráulica entre a cava Ponto 3 e Ponto 2.

As informações geológicas e hidrogeológicas para além da cava Ponto 2 são bastante escassas. Não se sabe como é a continuidade do corpo de formação ferrífera para SE e nem existem piezômetros nesta área. Uma importante informação refere-se a nascente Água Santa, situada a cerca de 1,5 km à SE da cava ponto 2. Esta nascente posiciona-se em torno da cota topográfica 1000 metros, apresenta uma vazão superior a 200 m<sup>3</sup>/h e uma salinidade elevada da água (em torno de 150 microS/cm).

Admite-se que esta nascente represente um ponto de descarga de água subterrânea da formação ferrífera na região, mas, em virtude das características hidroquímicas da nascente Água Santa e da sua elevada vazão, é provável esta não seja uma descarga exclusiva da unidade hidrogeológica da formação ferrífera. Deve haver uma mistura com águas proveniente ou dos quartzitos da Formação Cercadinho ou dos dolomitos carstificados da Formação Gandarela.

Vale salientar que, segundo o cadastro da Água (2004), existiam outras nascentes pertencentes ao córrego Água Santa, em trecho de montante, cuja descarga era associada a formação ferrífera. A vazão de uma destas nascentes, posicionadas logo a montante da área da cava do Ponto 2, era da ordem de 3,7 m<sup>3</sup>/h em 2003 (ÁGUA, 2004).

Resumindo, na condição de equilíbrio do aquífero, o fluxo d'água subterrânea na formação ferrífera apresentava um sentido preferencial de NW para SE, partindo de cotas da ordem de 1300 metros nas proximidades de João Pereira e chegando a cotas da ordem de 1000 metros a jusante da cava do Ponto 2.

No contexto da área estudada há ainda a nascente Jacutinga que se situa numa cota mais elevada (em torno de 1180 metros) que o nível d'água da formação ferrífera local e posiciona-se no contato da unidade hidrogeológica das encaixantes e a formação ferrífera atribuída ao Grupo Itacolomi posicionada a oeste na mina de Fábrica. Sua elevada vazão (60 m<sup>3</sup>/h) deve representar uma descarga da referida formação ferrífera, e talvez com alguma contribuição através de falhas, da descarga de água subterrânea do corpo de formação ferrífera da área da cava João Pereira. Parte desta descarga é direcionada para o Ribeirão da Prata.

Com relação ao aporte de água subterrânea na área estudada, este deve ocorrer principalmente através da recarga advinda das precipitações pluviométricas que infiltram na unidade hidrogeológica das coberturas e na própria formação ferrífera. Outra parcela deste aporte é proveniente da continuidade do aquífero em direção a área de João Pereira. Além disso, não se descarta a hipótese de haver contribuições de origem das encaixantes do contato de lapa.

No que se refere às descargas naturais de água subterrânea, associadas à formação ferrífera, conforme mencionado aponta-se a existência de nascentes no Ribeirão da Prata (20 m<sup>3</sup>/h) e no Córrego Água Santa (nascentes de montante 3,7 m<sup>3</sup>/h / nascente jusante 220 a 280 m<sup>3</sup>/h). No entanto, devido ao uso intensivo do solo da sub-bacia e diversas interferências nos cursos de água, como exploração de água subterrâneas, lançamento nos córregos, desvio de curso de água, reservatórios de água, etc., que já ocorriam em período anterior a 2005, e permanecem até os dias de hoje, fica difícil quantificar os valores descarga originalmente associados, exclusivamente, à formação ferrífera.

Com o início do bombeamento dos poços nas cavas 9, 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2, ocorreu uma mudança no fluxo d'água subterrânea que passou a convergir para os poços, e para as próprias cavas. Conforme será visto adiante, por meio do modelamento numérico, a área de interferência do rebaixamento possui atuação bem localizada nas cavas. O rebaixamento do nível d'água subterrânea atuou principalmente na unidade hidrogeológica da formação ferrífera, sendo menos expressivo nas rochas encaixantes.

No caso da Área 9, o cessar das atividades de rebaixamento após 2005 provocaram a recuperação do nível d'água na área o qual foi acelerado, a partir de 2011, pelo preenchimento da cava com rejeito. Atualmente esta área representa tanto uma região de descarga da porção de aquífero de montante, quanto recarga da porção de aquífero a jusante.

Na área de Segredo, ressalta-se a questão do poço PTP-06, que mesmo com uma vazão elevadíssima não promoveu um rebaixamento efetivo do nível d'água da formação ferrífera. Isso ocorre porque parte da água bombeada deste poço, provavelmente, é advinda de zonas aquíferas profundas e confinadas relacionadas à carstificação dos dolomitos e/ou itabiritos dolomíticos.

Outra questão refere-se à formação de um lago na cava Ponto 3. Este lago foi formado a partir do período chuvoso de 2009/2010, persistindo até os dias atuais. É um lago bastante extenso, e por isso apresenta características duplas, de influente e efluente, conforme a porção considerada.

Na porção à montante do lago, o nível d'água subterrânea está mais elevado ocorrendo então aporte de água para o lago. Na porção a jusante do lago, o nível d'água subterrânea está mais baixo que o lago ocorrendo infiltração. Mas de maneira geral sobressai a condição de influente.

De forma a possibilitar a visualização das condições de fluxo d'água subterrâneo na área de estudo, foi estabelecido um mapa potenciométrico contemplando o Sistema Aquífero Cauê, uma vez que apenas este possui histórico de dados de monitoramento piezométrico.

Para as análises e interpretações sobre o comportamento do fluxo, foram utilizadas as cotas topográficas provenientes dos inventários de nascentes realizados, e, principalmente, os valores de nível d'água de piezômetros e indicadores de nível

d'água existentes na área, atualizados até junho de 2018. O mapa resultante pode ser visualizado na Figura 6.2.

Neste mapa, as equipotenciais do nível d'água estão representadas de 10 em 10 metros. Observa-se que, de uma forma geral, as cargas hidráulicas decaem a partir da porção noroeste da área (1290 m) até a área do Ponto 2 (980 m). São observadas convergências do fluxo em direção a cava da área 9 ½ que se encontra na cota 1100 metros atualmente; e na cava do Ponto 2, que se encontra na cota 976 metros.

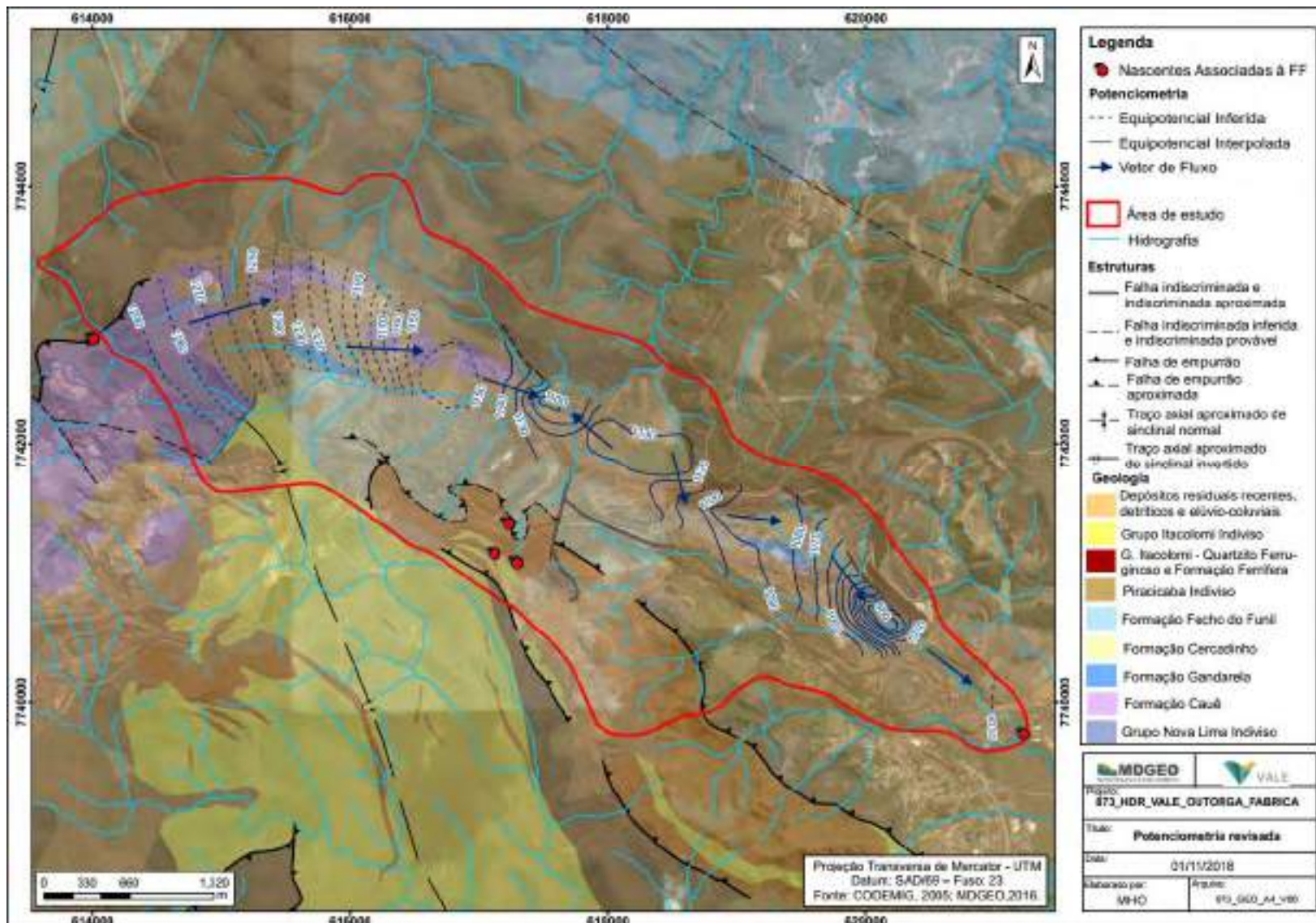


Figura 6.2: Condições de fluxo na unidade hidrogeológica da Formação Ferrífera.

## 7 MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO

A modelagem numérica tridimensional do fluxo de água subterrânea permite representar matematicamente as condições hidrogeológicas em uma determinada área, e assim realizar de prognósticos quanto às possíveis variações nessas condições frente às intervenções diversas. O modelo numérico que abrange a Mina de Fábrica (Áreas 8, 9, 9 ½, 10, Segredo, Ponto 3 e Ponto 2) foi também elaborado em 2016 pela MDGEO (MDGEO, 2017), com base nas informações e definições apresentadas no modelo hidrogeológico conceitual.

Para o modelamento numérico regional do fluxo d'água subterrânea na área da Mina de Fábrica foi adotado o algoritmo *MODFLOW* 1996, desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, que opera com o método das diferenças finitas. O programa utilizado foi o *Visual Modflow* 2011.1, versão 4.6, desenvolvido por Guiguer e Franz da *Schlumberger Water Services*.

O fluxo d'água subterrâneo pode ser representado numericamente segundo dois regimes de escoamento: permanente (*Steady State*) ou transiente (*Transient*). No regime permanente predomina uma condição de equilíbrio para o aquífero, não havendo variações das propriedades hidrodinâmicas e condições de contorno ao longo do tempo. No regime transiente, simula-se o aquífero em estado de não equilíbrio, considerando as variações das propriedades hidrodinâmicas e condições de contorno em relação ao tempo.

Para representação das condições de fluxo e nível d'água subterrânea dos sistemas modelados são ajustados ou calibrados os valores de cota do nível d'água e de vazão de saída do aquífero através do processo de retroanálise, quando são realizadas sucessivas alterações nos valores de condutividade, recarga (etapa em permanente) e armazenamento (etapa em transiente).

A metodologia utilizada durante a elaboração e calibração do fluxo de água subterrânea no modelo numérico consistiu na integração das seguintes atividades:

- Calibração em regime de escoamento permanente (abril-2005) - utilizada para ajustar os valores de condutividade hidráulica e recarga;



- Calibração em regime transiente (maio de 2005 a janeiro de 2016) - utilizada para ajustar os valores do coeficiente de armazenamento das unidades hidrogeológica.

O domínio do modelo numérico possui área superficial de aproximadamente 35 km<sup>2</sup>, sendo que as coordenadas (UTM - datum SAD 69) que definem os limites são apresentados adiante:

- Eixo X: 613580 a 621300 - 7720 metros;
- Eixo Y: 7739580 a 7744140 - 4560 metros;
- Eixo Z: 800 a 1480 - 680 metros;

Possui malha regular de cálculo com 199 linhas, 348 colunas e 30 camadas horizontais (Figura 7.1) totalizando um conjunto de 2.007.560,00 células com dimensões que variam de 40 x 40 metros a 20 x 20 m, nas direções X, Y; e de 20 a 40 metros, na direção z.

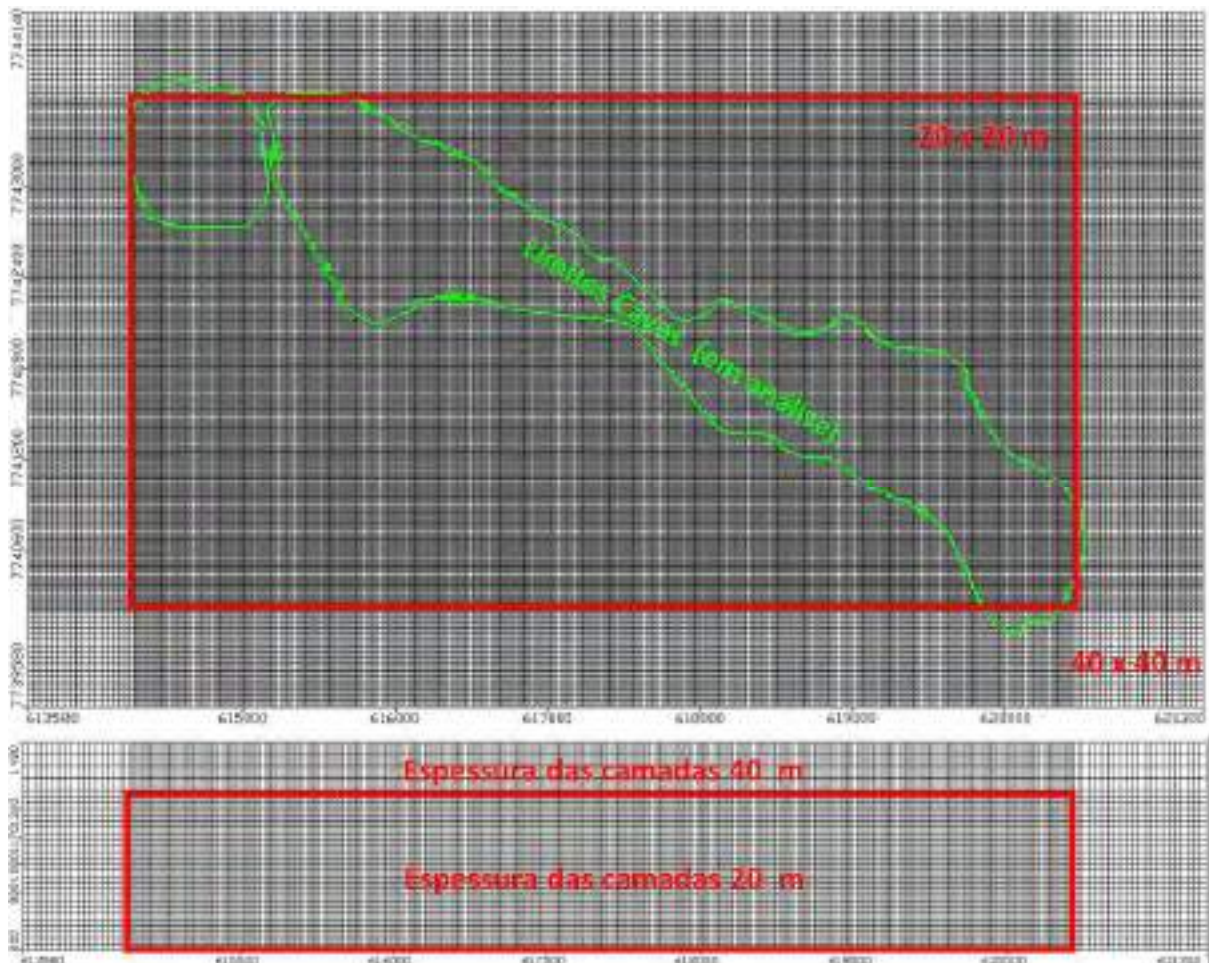


Figura 7.1: Malha numérica utilizada.

As condições de contorno utilizadas no modelo numérico em questão encontram-se listadas na Tabela 7.1 adiante, e ilustradas na Figura 7.2, em visualizações tridimensionais e em planta. De forma geral, são utilizadas para representar as entradas e saídas água no modelo numérico bem como seus limites físicos, representando elementos físicos/hidrogeológicos existentes, tais como, rios, nascentes, poços, recarga, rochas impermeáveis, continuidade do aquífero, divisores de bacias, etc.

**Tabela 7.1: Condições de contorno utilizadas no modelo numérico da mina de Fábrica.**

Elemento representado	Recurso numérico utilizado	Condição de Contorno	Descrição
<b>Limites físicos do modelo - domínio horizontal</b>	Células inativas ( <i>inactive cell</i> )	Tipo 2 (fluxo nulo)	Delimitação de área ativa do modelo baseada nos divisores topográficos e drenagens, sendo atribuído fluxo nulo às células que estão fora desses limites.
<b>Limites físicos do modelo - domínio vertical</b>	Células inativas ( <i>inactive cell</i> )	Tipo 2 (fluxo nulo)	Topo do modelo definido pela topografia da área, sendo o ar discretizado com células inativas. Base do modelo definida na cota 800 metros.
<b>Recarga do aquífero</b>	Recarga ( <i>recharge</i> )	Tipo 2 (fluxo definido)	Percentual da precipitação (mm/ano), ou aportes de outras fontes, que efetivamente recarregam o aquífero. Foi aplicada em toda superfície ativa do modelo.
<b>Cursos D'água</b>	Drenos ( <i>drains</i> )	Tipo 3 (fluxo e carga dependentes)	Representação da descarga de água nos cursos d'água, a qual é função da carga hidráulica do entorno, e da elevação e da condutância atribuídas ao dreno.
	Potencial Constant (Constant Head)	Tipo 1 (Carga especificada)	Representação da descarga de água na nascente Água Santa, em sua porção mais baixa, a qual é função apenas da carga hidráulica do entorno, e da elevação do potencial constante.
<b>Sumps e DHPs</b>	Drenos ( <i>drains</i> )	Tipo 3 (fluxo e carga dependentes)	Representação da descarga via <i>sumps</i> e drenos horizontais profundos.
<b>Continuidade do Aquífero</b>	Carga Geral (General Head Boundary)	Tipo 3 (fluxo e carga dependentes)	Representação da continuidade fluxo no sistema aquífero da formação ferrífera, em sua porção Noroeste.
<b>Aporte Locais/Regionais</b>	Carga Geral (General Head Boundary)	Tipo 3 (fluxo e carga dependentes)	Representação de aportes locais/regionais não conhecidos com detalhe, tais como as vazões da Nascente Água Santa e do Poço 6
<b>Lagos</b>	Carga Geral (General Head Boundary)	Tipo 3 (fluxo e carga dependentes)	Representação do enchimento das cavas IX e X com rejeito
<b>Poços de bombeamento</b>	Poços de bombeamento ( <i>pumping wells</i> )	Tipo 2 (fluxo definido)	Exploração de água subterrânea via poços. Vazões dos poços definidas com base nos dados disponibilizados pela contratante e obtidos em campo.

## ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

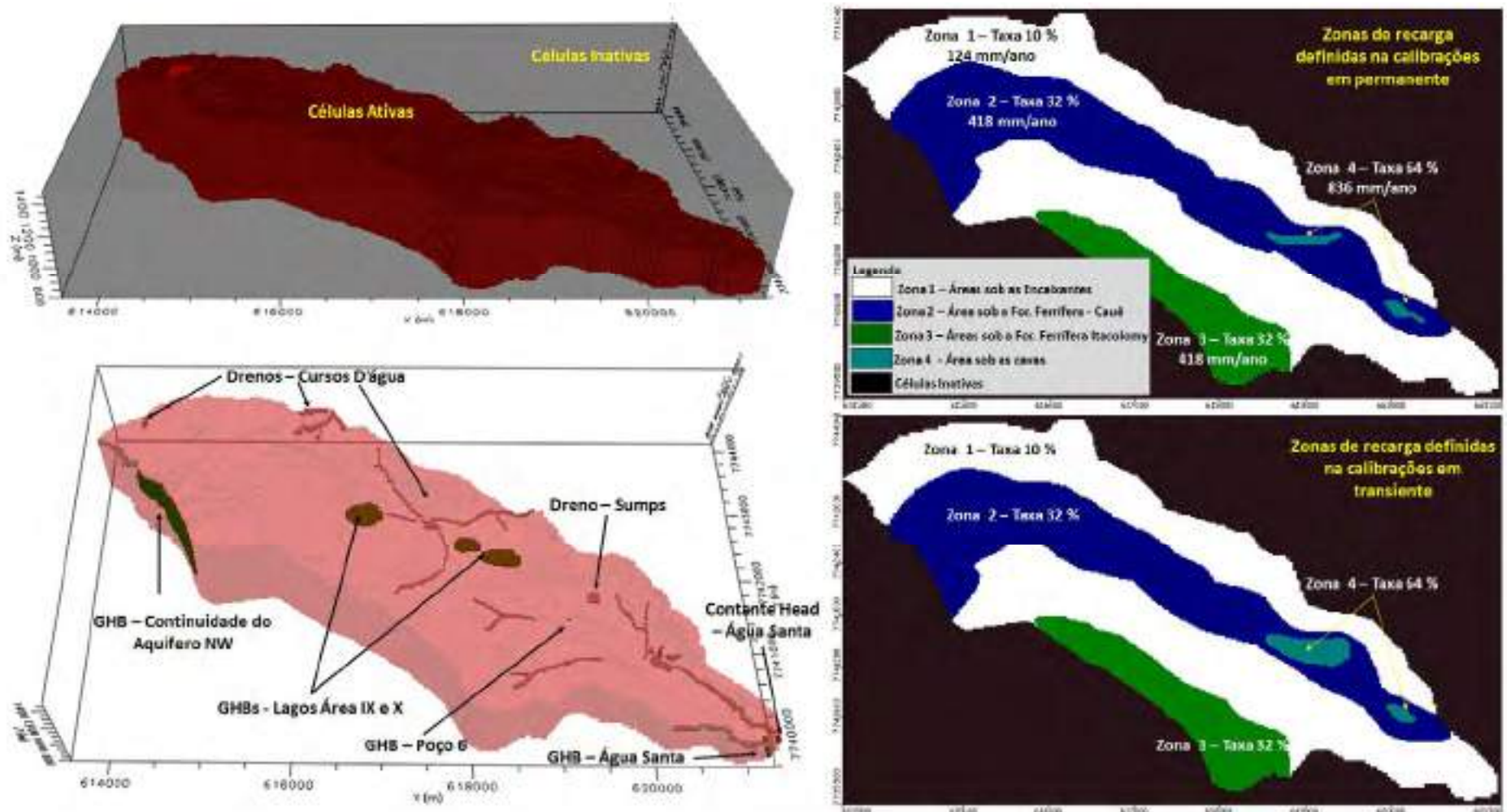


Figura 7.2: Condições de contorno utilizadas no modelo numérico.

Com relação a recarga, conforme mostrado na figura, foram definidas 4 zonas principais (Formação Ferrífera - Cauê, Formação Ferrífera Itacolomy, Encaixantes, Áreas de Cavas), em função do potencial de recarga característico destas, sendo que os valores obtidos para estas zonas foram objeto de calibração em regime permanente. Nesta, as taxas de recarga foram ajustadas com base na precipitação média plurianual do período chuvoso (1306 mm/ano) da série de dados (jan-1974 a fev-2016) coletados da Pluviômetro PLV-01.

Foram calibradas taxas sendo 32%, ou 836 mm/ano, para as zonas 2 e 3 (Área sob a formação ferrífera), 10% ou 124mm/ano, para a zona 1 (Área sob as encaixantes), e 64% para as áreas de cava, considerando que já em 2005, período base da calibração em permanente, já havia operação de lavra em curso nas áreas de Segredo e Ponto 2.

Na calibração em transiente os percentuais de recarga foram mantidos, sendo aplicado sobre a precipitação observada entre maio de 2005 de janeiro de 2016. Apenas para a zona 4, a área de recarga foi expandida na calibração em transiente, em função da abertura das cavas. Para as demais áreas de cava nas quais ocorre o enchimento com rejeito, como este processo foi representado com uso de GHBs, não foi necessário o uso da zona 4.

Com relação à distribuição das propriedades hidrodinâmicas (condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento), esta é definida a partir da associação dos litotipos presentes na área com as propriedades do modelo numérico, caracterizadas por cores e números distintos.

A discretização dessas propriedades foi realizada por meio da importação das informações do modelo geológico de blocos, disponibilizado pela Vale em formato “.csv” (arquivo: “seg\_0911\_lito.csv”). Foi utilizado um total de 18 propriedades para representação dos litotipos presentes no modelo geológico. Além dessas, foram inseridas mais 4 propriedades para representar zonas de descontinuidades discretizadas com base tanto no mapeamento estrutural existente, como nos níveis d’água e vazões observadas localmente.

A Tabela 7.2 apresenta os litotipos discretizados no modelo numérico, e os valores dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos no processo de calibração do mesmo.

E a Figura 7.3 mostra a distribuição das propriedades hidrodinâmicas no modelo numérico.

Inicialmente os valores de condutividade hidráulica e armazenamento adotados foram os mesmos utilizados no modelo anterior elaborado em 2012 (MDGEO, 2012), mas durante o processo de calibração esses valores foram modificados, com base no processo de retroanálise, visando obter melhores resultados representativos dos parâmetros monitorados tanto de níveis d'água quanto de vazões.

**Tabela 7.2: Litotipos discretizados no modelo numérico e propriedades hidrodinâmicas obtidas nas calibrações nos regimes permanente e transiente.**

Sistema Hidrogeológico	Co r	Litotipos Discretizados	Sigla Model o de Blocos	K (m/dia)			S	
				Kx	Ky	Kz	Ss (1/m)	Sy
-	1	Propriedade não utilizada	-	-	-	-	-	-
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	2	Itabirito friável	IF	1	0,5	0,5	0,001	0,05
-	3	Propriedade não utilizada	-	-	-	-	-	-
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	4	Itabirito argiloso	IAR	0,04	0,02	0,02	0,0008	0,03
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	5	Formação ferrífera indivisa	FFI	1	0,5	0,5	0,001	0,08
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	6	Hematita manganesífera	HMN	0,7	0,35	0,35	0,0008	0,03
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	7	Hematita argilosa	HAR	0,5	0,25	0,25	0,0008	0,03
Unidade hidrogeológica das rochas encaixantes	8	Dolomito	DO	0,02	0,01	0,01	0,0004	0,01
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	9	Quartzito ferruginoso	QF	0,1	0,05	0,05	0,001	0,04
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	10	Itabirito friável rico	IFR	1	0,5	0,5	0,001	0,05
Unidade hidrogeológica das rochas encaixantes	11	Xisto	XI	0,004	0,004	0,004	0,0002	0,005
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	12	Itabirito dolomítico	IDO	0,03	0,015	0,015	0,0004	0,01
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	13	Hematita friável	HF	1,3	0,65	0,65	0,001	0,08
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	14	Hematita compacta	HC	2,3	1,15	1,15	0,001	0,05
Unidade Hidrogeológica das coberturas	15	Canga	CG	2	2	2	0,0005	0,005
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	16	Itabirito compacto	IC	1,5	0,75	0,75	0,0008	0,03
Unidade Hidrogeológica das coberturas	17	Aterro	AT	0,1	0,1	0,1	0,0005	0,005
Unidade hidrogeológica da formação ferrífera	18	Itabirito manganesífero	IMN	0,2	0,1	0,1	0,0008	0,03
Unidade Hidrogeológica das coberturas	19	Solo	SO	0,1	0,1	0,1	0,0005	0,005
Unidade Hidrogeológica das coberturas	20	Rolado	RO	2	2	2	0,0005	0,005
-	21	Falha Água Santa	-	10	10	10	0,1	0,3
-	22	Zona de alta condutividade Dolomito	-	3	3	3	0,5	0,3
-	23	Falhas Área X	-	10	10	10	0,001	0,1
-	24	Falha Ponto 2	-	10	10	10	0,1	0,3

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

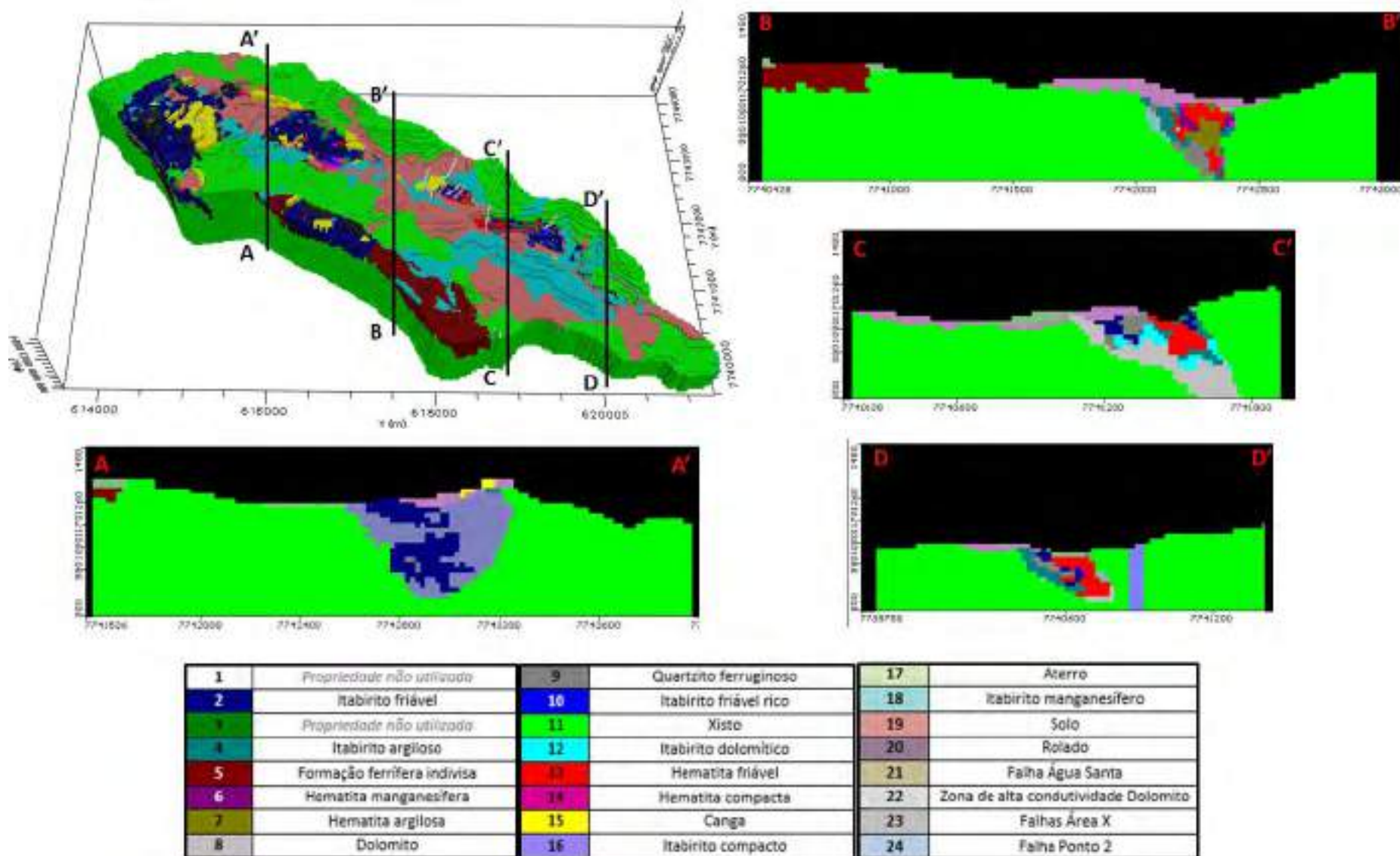


Figura 7.3: Distribuição das propriedades hidrodinâmicas no modelo numérico.

As condutividades hidráulicas dos litotipos representados foram ajustados na etapa de calibração em permanente, enquanto o armazenamento foi objeto de ajuste apenas da etapa de calibração em regime transiente<sup>1</sup>.

De forma geral, os valores obtidos nas calibrações para os parâmetros hidrodinâmicos acima mencionado estão dentro das faixas usuais para litotipos semelhantes, apresentadas no modelo conceitual.

### 7.1.1 Calibrações em regime de escoamento permanente

As operações de rebaixamento do nível d'água na área modelada são realizadas desde os anos 90 na Área IX, e 2000 no Ponto 2. No entanto, apenas a partir de 2003 a área foi incorporada pela VALE, sendo o monitoramento das operações de rebaixamento efetivamente iniciado no ano de 2005.

Desta forma, apesar de o aquífero não mais se encontrar em uma condição de equilíbrio, em função do período no qual existem registros de nível d'água e bombeamento, optou-se por fazer a calibração em permanente considerando os dados de monitoramento registrados em abril de 2005 na Mina de Fábrica.

Nesse período, existiam 23 instrumentos instalados na área, todos inseridos apenas no contexto das cavas de Segredo/Ponto 3 e Ponto 2, conforme mostra a Figura 7.4. Como grande parte da área representada no modelo não era instrumentada na data base adotada para calibração em permanente, foram adicionados alguns instrumentos (em verde na Figura 7.4), localizados nas Áreas 9 e 10, que possuem registros a partir de 2006, para auxiliar na avaliação desta etapa de calibração.

Considerando toda área modelada, a diferença máxima de nível d'água observado é da ordem de 224 metros (dispositivos INA-07/10 e PZFAPII 20), já no contexto apenas das cavas de Segredo/Ponto 3 e Ponto 2, a diferença máxima de nível d'água observado é da ordem de 108 metros (instrumentos PZFASG 11 e PZFAPII 20).

Essa informação é utilizada para avaliar os resultados do modelo, uma vez que as boas práticas recomendam que o erro médio absoluto (ARM) da calibração seja inferior a 5% da máxima diferença observada na área modelada, neste caso, inferior

<sup>1</sup> No regime permanente, o armazenamento é nulo já que nessa situação de equilíbrio a entrada e saída de água do aquífero se igualam.

a 11.2 metros (5% de 224 metros). Em escala de maior detalhe, utilizado o mesmo critério, para as cavas de Segredo/Ponto 3 e Ponto 2, tem-se que esse valor é de 5.4 metros (5% de 108 metros).

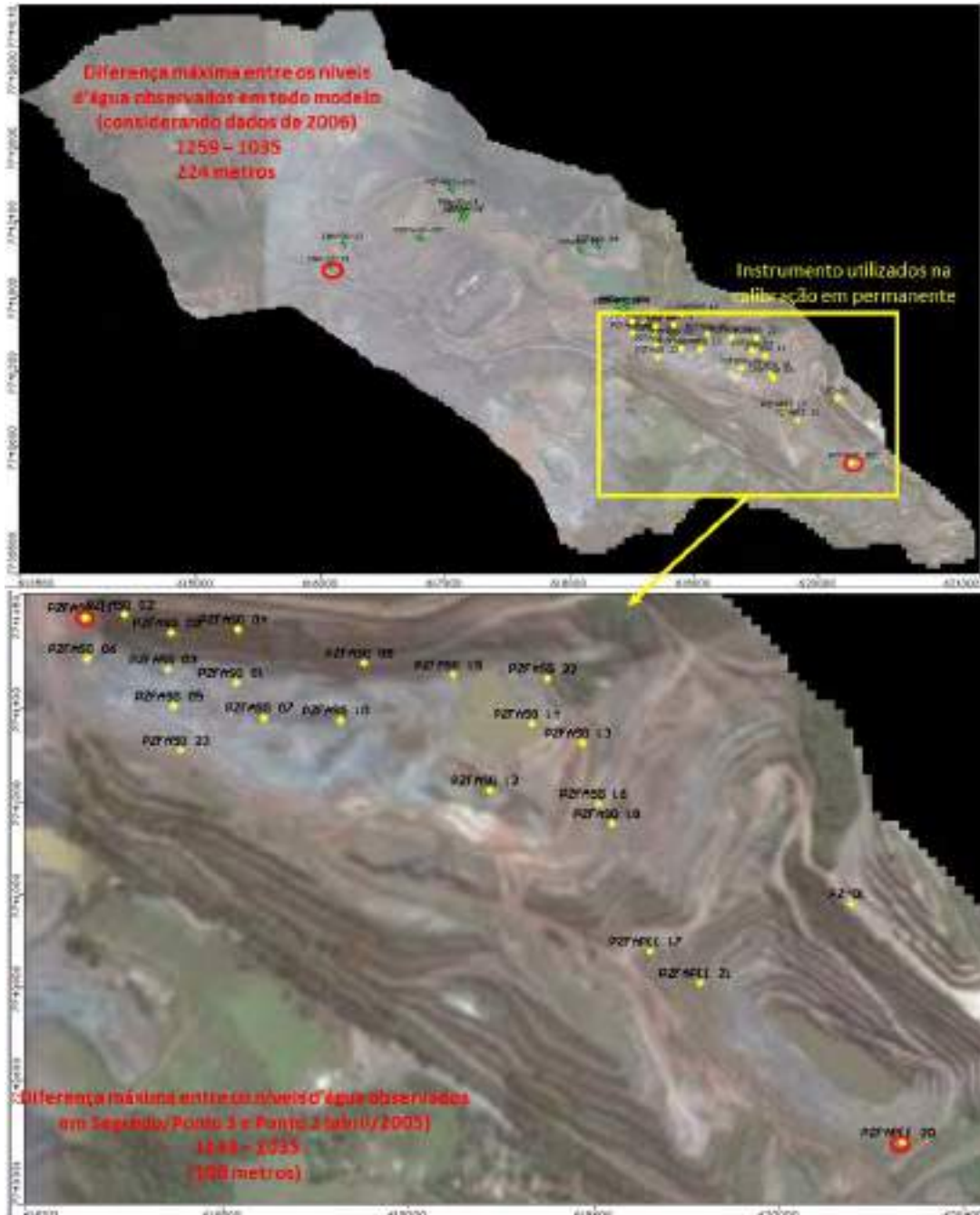


Figura 7.4: Instrumentos utilizado na calibração em regime permanente.

A comparação entre os níveis monitorados nos piezômetros com os calculados nos mesmos pelo modelo numérico na calibração em permanente é apresentada na Tabela 7.3 a seguir, apenas para os instrumentos que possuíam registros em abril de



**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

2005. Nesta, os valores de erros absolutos foram classificados em função dos parâmetros acima descritos.

**Tabela 7.3: Níveis d'água calculados pelo modelo numérico x observados**

Cod Geotec	Nome	Litologia Modelo	NA Observado (m)	NA Calculado (m)	Erro Abs.
FABCVP2PZ001/A	PZ-01	Xisto	1067,66	1062,46	5,20
FABCVP2PZ004/A	PZFAPII 17	Itabirito Manganêsífero	1081,36	1078,58	2,78
FABCVP2PZ005/A	PZFAPII 20	Itabirito Friável	1035,84	1037,37	1,53
FABCVP2PZ006/A	PZFAPII 21	Itabirito Argiloso	1063,08	1060,14	2,94
FABCVSGPZ001/A	PZFASG 01	Itabirito Friável	1110,56	1121,68	11,12
FABCVSGPZ002/A	PZFASG 02	Hematita Friável	1136,44	1123,82	12,62
FABCVSGPZ003/A	PZFASG 03	Itabirito Argiloso	1131,59	1123,37	8,22
FABCVSGPZ004/A	PZFASG 04	Hematita Manganêsífera	1123,00	1120,15	2,85
FABCVSGPZ005/A	PZFASG 05	Hematita Manganêsífera	1121,79	1124,65	2,86
FABCVSGPZ006/A	PZFASG 06	Itabirito Argiloso	1128,13	1126,29	1,84
FABCVSGPZ007/A	PZFASG 07	Dolomito	1115,28	1120,34	5,06
FABCVSGPZ008/A	PZFASG 08	Itabirito Argiloso	1108,99	1113,51	4,52
FABCVSGPZ009/A	PZFASG 09	Itabirito Argiloso	1126,66	1123,20	3,46
FABCVSGPZ010/A	PZFASG 10	Itabirito Dolomítico	1117,85	1111,33	6,52
FABCVSGPZ011/A	PZFASG 11	Itabirito Argiloso	1143,00	1125,85	17,15
FABCVSGPZ012/A	PZFASG 12	Itabirito Friável Rico	1094,52	1097,59	3,07
FABCVSGPZ013/A	PZFASG 13	Hematita Friável	1091,67	1096,16	4,49
FABCVSGPZ014/A	PZFASG 14	Quartzito Ferruginoso	1098,77	1100,83	2,06
FABCVSGPZ015/A	PZFASG 15	Hematita Friável	1108,15	1108,64	0,49
FABCVSGPZ016/A	PZFASG 16	Itabirito Friável	1089,08	1092,26	3,18
FABCVSGPZ017/A	PZFASG 18	Itabirito Friável	1087,15	1090,37	3,22
FABCVSGPZ020/A	PZFASG 22	Itabirito Friável	1111,06	1104,86	6,21
FABCVSGPZ021/A	PZFASG 23	Itabirito Friável	1125,08	1128,89	3,81

**Legenda**

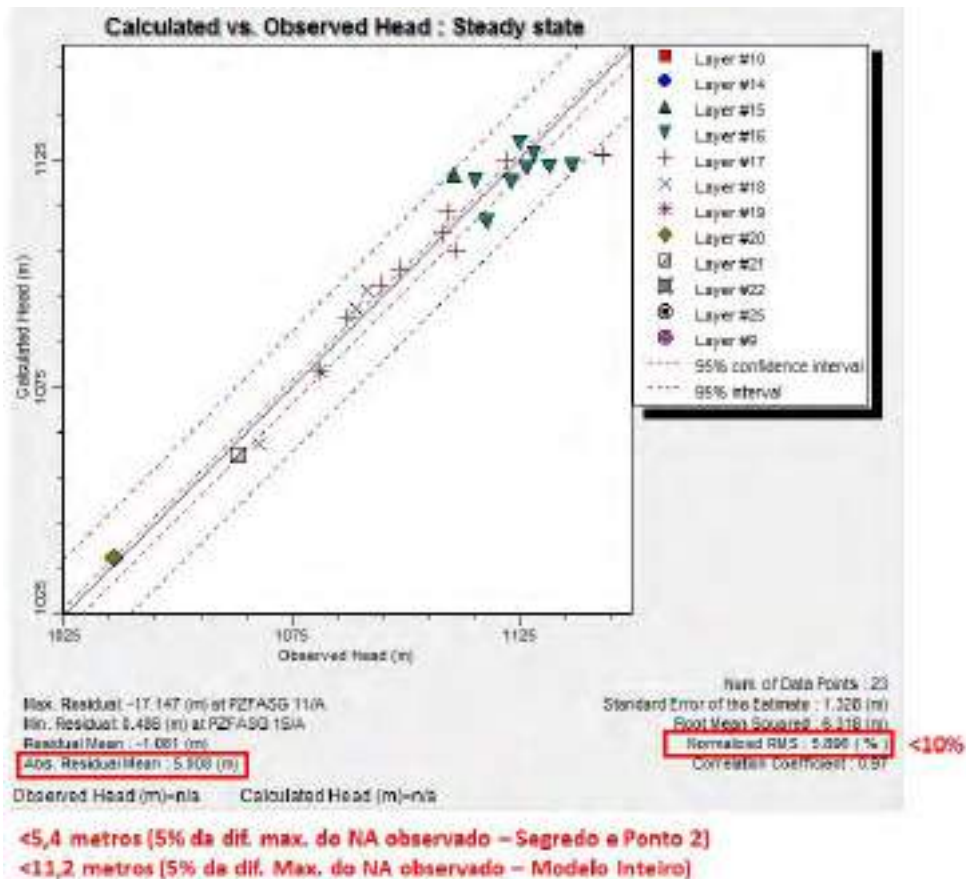
< 5,4 metros
  > 5,4 e < 11,2 metros
  > 11,2 metros

Os níveis calculados estão bem próximos dos monitorados, o que demonstra uma boa calibração. Maiores diferenças acontecem pontualmente e são decorrentes, em parte, da escala de trabalho utilizada, uma vez que o modelo representa uma área muito grande, com geologia bastante complexa.

A Figura 7.5 apresenta um gráfico com a comparação dos valores de nível d'água. No eixo das abscissas, X, são lançados os valores de nível d'água monitorados (ou observados), enquanto no eixo das ordenadas, Y, lançam-se os valores de nível d'água calculados pelo modelo. Desta forma, quanto mais próximos os pontos estiverem da reta que representa  $x = y$ , melhor a calibração do modelo.

Esse gráfico confirma a boa calibração obtida, com erro médio global normalizado (nRMS - *Normalized Root Mean Squared*) de 5,8 %, uma vez que, em geral, valores de nRMS inferiores a 10% são entendidos como bom indicativo do processo de calibração com base na larga experiência em modelagem da MDGEO. Outro parâmetro estatístico que corrobora o bom resultado da calibração é o erro

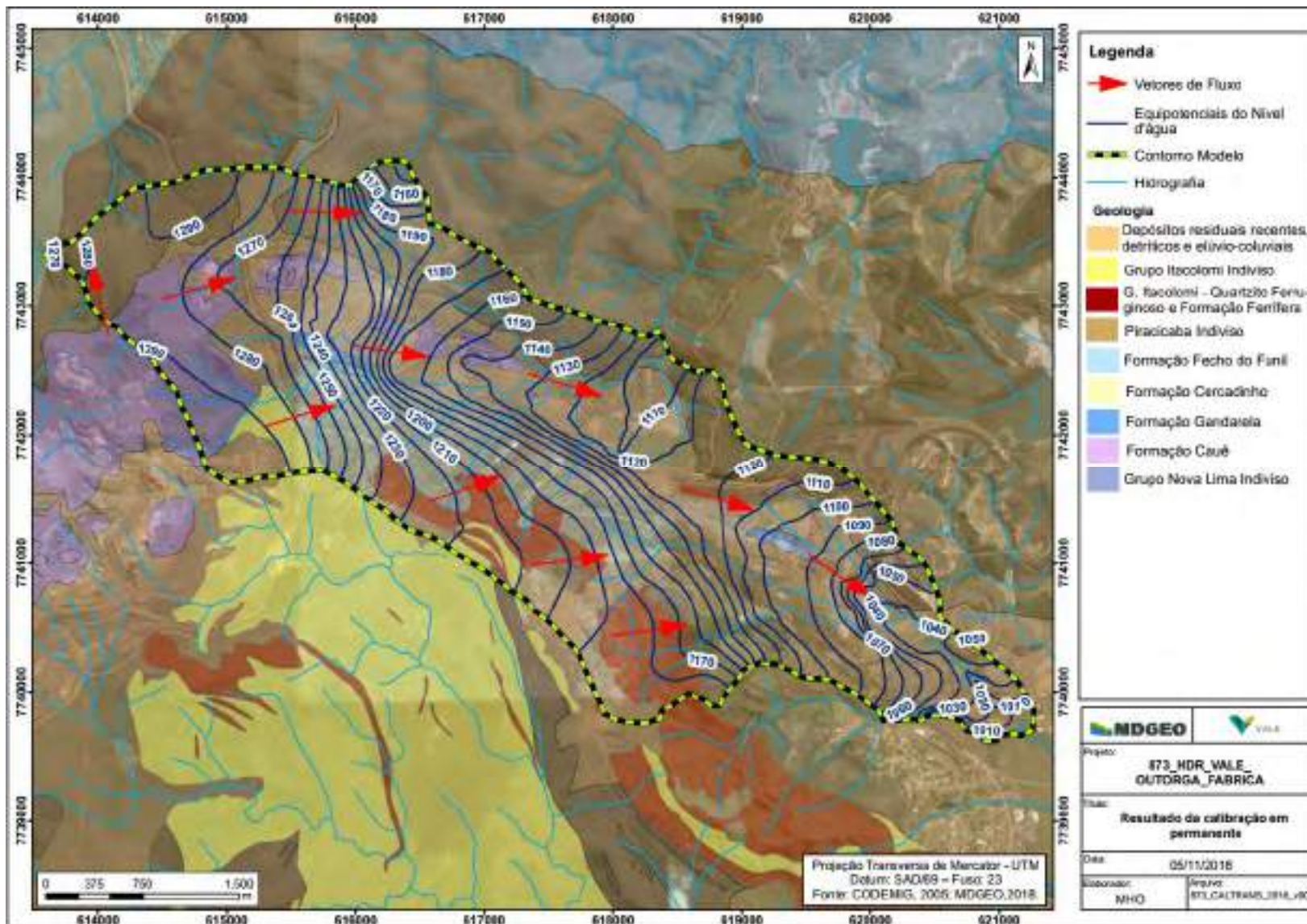
médio absoluto (ABS), já mencionado anteriormente, o qual foi igual 5 metros, e, portanto, inferior a 5% da diferença máxima de nível d'água observada tanto na área modelada (11,2m), como nas cavas de Segredo/Ponto 3 e Ponto 2 (5,4m).



**Figura 7.5: Gráfico dos níveis d'água calculado x observado obtidos na calibração em permanente.**

A Figura 7.6 apresenta as equipotenciais do nível d'água e as direções do fluxo de água subterrânea obtidos na calibração. Esta figura apresenta as equipotenciais de 10 em 10 metros, no plano horizontal correspondente à camada 20 do modelo. Ressalta-se que existe certa dificuldade para visualizar as equipotenciais em planta, pois as mesmas variam conforme a cota, portanto, procurou-se escolher o plano mais representativo.

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**



**Figura 7.6: Equipotenciais do nível d'água resultantes da calibração em permanente (camada 20 - correspondente a elevação média de 1010 m).**

Conforme se observa na figura, o sentido do fluxo da água subterrânea ocorre, preferencialmente, de NW para SE, havendo ainda uma convergência de fluxo em direção ao Ribeirão da Prata.

As zonas de balanço, mostradas na Figura 7.7, foram utilizadas para a obtenção das vazões de saída associadas aos drenos, rios e GHB's utilizados no modelo.



**Figura 7.7: Distribuição das zonas de balanço no modelo numérico.**

Os valores obtidos encontram-se apresentadas na Tabela 7.4, a seguir. Vale salientar que, além do rebaixamento nas cavas, as bacias representadas no modelo numérico estavam e estão sob outras influências antrópicas não representadas no modelo, tais como a presença de barragens (Rib. da Prata), pilhas de estéril (Cór. Cordeiro), canalização de córregos (Cór. Cordeiro), entre outras. Além disso, a maioria dos registros de vazões datam de período posterior à 2005 (ano base do permanente). Estes fatos dificultam a comparação dos valores calculados do modelo com os valores reais. No entanto, com base nos valores apresentados, pode-se dizer que os resultados obtidos foram satisfatórios.

Com relação ao balanço de massa da calibração em regime permanente, este apresentou discrepância de 0,01%, valor condizente com os critérios de qualidade comumente adotados em modelos numéricos (<1%).

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**
**Tabela 7.4: Resultados Vazões - Calibração em Permanente**

Bacia	Zone Budget	Condição de Contorno associada	Descrição e Ponto de Monitoramento Associado	Dados de monitoramento	Parâmetros ajustados na calibração		Vazão Esperada (m³/h)	Vazão Esperada (m³/dia)	Vazão Permanente (m³/h)	Vazão Permanente (m³/dia)
					Carga Hidráulica	Condutância (m²/dia)				
-	1	Drenos	Desaguamento cava Área 9	Não há	1085	500	-	-	371,50	8916,00
	2	GHB*	Continuidade de fluxo na formação ferrífera	Não há	1295	200	-	-	<b>263,32</b>	<b>6319,60</b>
Córrego das Almas	3	Drenos	Afluente do Almas	Não há	1325 a 1220	1000	-	-	3,71	89,00
	4	Drenos	Afluente do Almas	Não há	1261 a 1201	1000	-	-	3,58	86,00
	5	Drenos	Trecho Afluente do Almas a montante do FAB_VZ-09/09	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	1201 a 1121	0,1 a 1	Entre 5 e 15	Entre 120 e 360	6,83	164,00
	6	Drenos	Trecho Afluente do Almas a jusante do FAB_VZ-09/09	Não há	1220 a 1120	0,1 a 1000	-	-	5,54	133,00
	<b>3 + 4 + 5 + 6</b>		<b>Afluentes do Almas</b>		-	-	-	-	<b>19,67</b>	<b>472,00</b>
Rib. da Prata	7	Drenos	Trecho Afluente Rib. da Prata a montante FAB_VZ-76/08	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	1201 a 1130	10000	Entre 8 e 20	Entre 192 e 480	11,38	273,00
	8	Drenos	Trecho Afluente Rib. da Prata a montante	Não há	1130 a 1121	100 a 1000	-	-	35,92	862,00
	10	Drenos	Galeria Área 9	Informação Vale (2015)	1137	500	<120	2880	2,50	60,00
	11	Drenos	Afluente Rib. da Prata (Nascentes do Alto Jacutinga)	Não há	1205 a 1121	1000	-	-	30,21	725,00
	12	Drenos	Rib. da Prata - Jusante CB03 FAB_VZ-08/12 e FAB_VZ--08/09	Monitoramento Vale 2012 a 2015)	1121 a 1081	1 a 1000	Entre 30 e 50	Entre 720 e 1200	74,92	1798,00
<b>7 + 8 + 10 + 11 + 12</b>		-		-	-	-	-	<b>154,92</b>	<b>3718,00</b>	
Córrego Água Santa	13	Drenos	Poço 6	Não há	1110	1000	-	-	0,29	7,00
	14	Drenos	Cór. Água Santa (Nascente S13+S14)	Não há	1101 a 1035	1000	-	-	86,54	2077,00
	<b>13 + 14</b>		<b>P-16 (Nascente S13+S14 + Poço 6 + Sump Cava Ponto 2)</b>		<b>Água (2003)</b>	-	-	<b>108</b>	<b>2592</b>	<b>86,83</b>
Córrego Cordeiro	15	Drenos	FAB_VZ-jmendes/05	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	1165 a 1130	1000	Entre 3 e 10	Entre 72 e 240	5,83	140,00
	16	Drenos	P10A + P10B (Nascentes S04)	Água (2004)	1165 a 1140	1000	137	3288	40,25	966,00
	17	Drenos	-	Não há	1140 a 1101	0,1	-	-	0,04	1,00
<b>15 + 16 + 17</b>		-		-	-	-	-	<b>46,13</b>	<b>1107,00</b>	
Confluência Cór. Água Santa e Cór. Cordeiro	18	Drenos	S21 + S19	Água (2004)	1035 a 990	1000	-	-	13,83	332,00
Nascente Água Santa	19	Potencial Constante	P20 (Nascente Água Santa)	Água (2004)	990	1000	Entre 240 e 280	Entre 5760 e 6720	259,46	6227,00

\* Estrutura cede água para o aquífero

### 7.1.2 Calibrações em regime de escoamento transiente

Na calibração em regime transiente foram utilizados 99 instrumentos, sendo destes apenas 41 estavam ativos e/ou possuíam dados coletados entre outubro de 2015 e janeiro de 2016. A Figura 7.8 ilustra a distribuição desses instrumentos no modelo numérico, destacando os 41 dispositivos atualmente ativos.

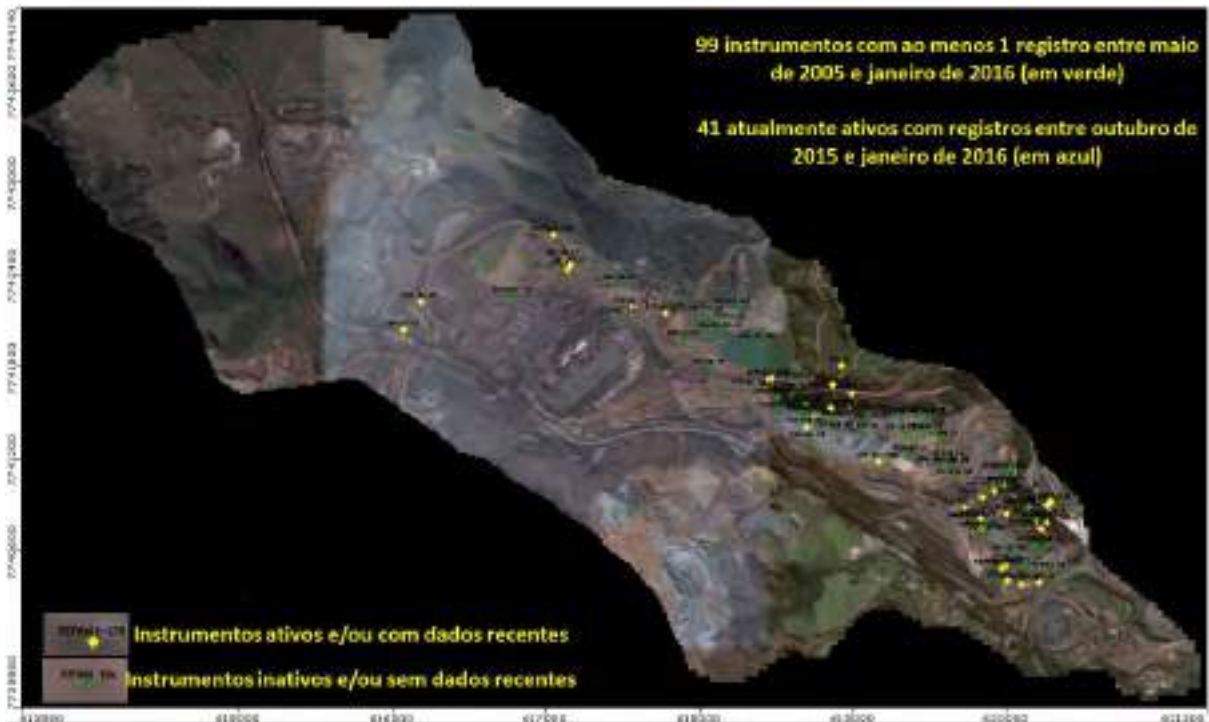


Figura 7.8: Instrumentos utilizado na calibração em regime transiente.

A análise conjunta dos instrumentos de monitoramento considerados nessa calibração mostra uma boa aproximação entre os níveis d'água calculados e monitorados. A reta de calibração com os valores observados e calculados de todos os instrumentos ativos e com registros de dados no último período de tempo da calibração, é apresentada na Figura 7.9, na qual verifica-se que o modelo numérico apresenta boa calibração, com erro médio normalizado (nRMS) em torno de 4,09%.

Cabe ressaltar inclusive que em todos os 22 períodos de calibração, o erro médio normalizado (nRMS) utilizado como parâmetro de calibração, está abaixo dos 10% estabelecidos pela EPA, atestando a boa qualidade da calibração dos níveis d'água no modelo. Os valores do nRMS em todos os períodos de calibração pode ser visualizada na Figura 7.10.

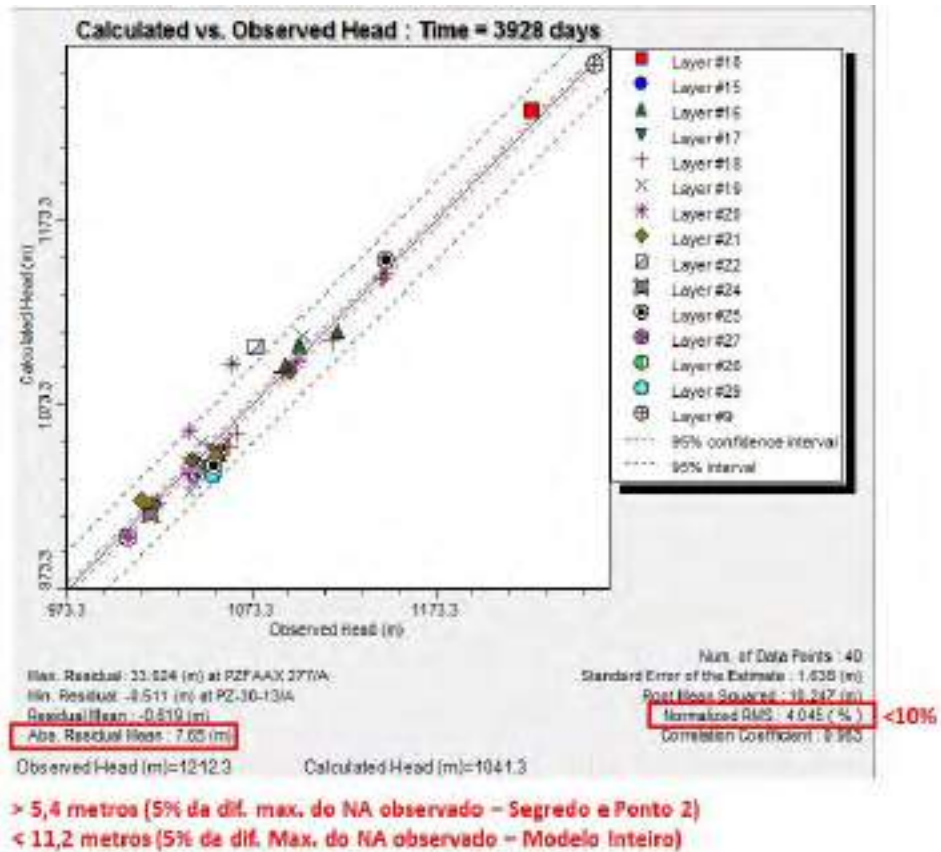


Figura 7.9: Gráfico dos níveis d’água calculado x observado obtidos ao final da calibração em transiente - para instrumentos ativos.

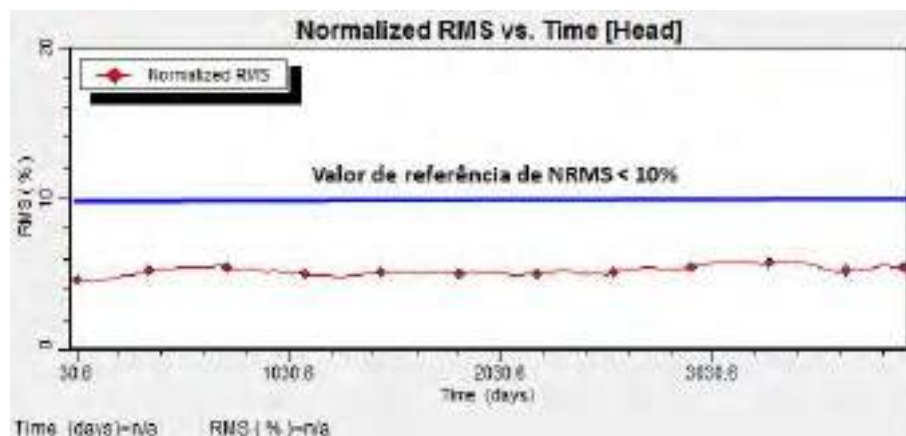


Figura 7.10: Erro médio normalizado-RMS ao longo de todos os períodos de calibração.

Assim como na etapa de calibração em regime permanente, os resultados de cada instrumento na etapa em transiente foram listados e comparados com os limites atribuídos ao erro médio absoluto. A Tabela 7.5 a seguir apresenta as estatísticas dos erros absolutos obtidos na calibração em regime transiente, na qual é possível

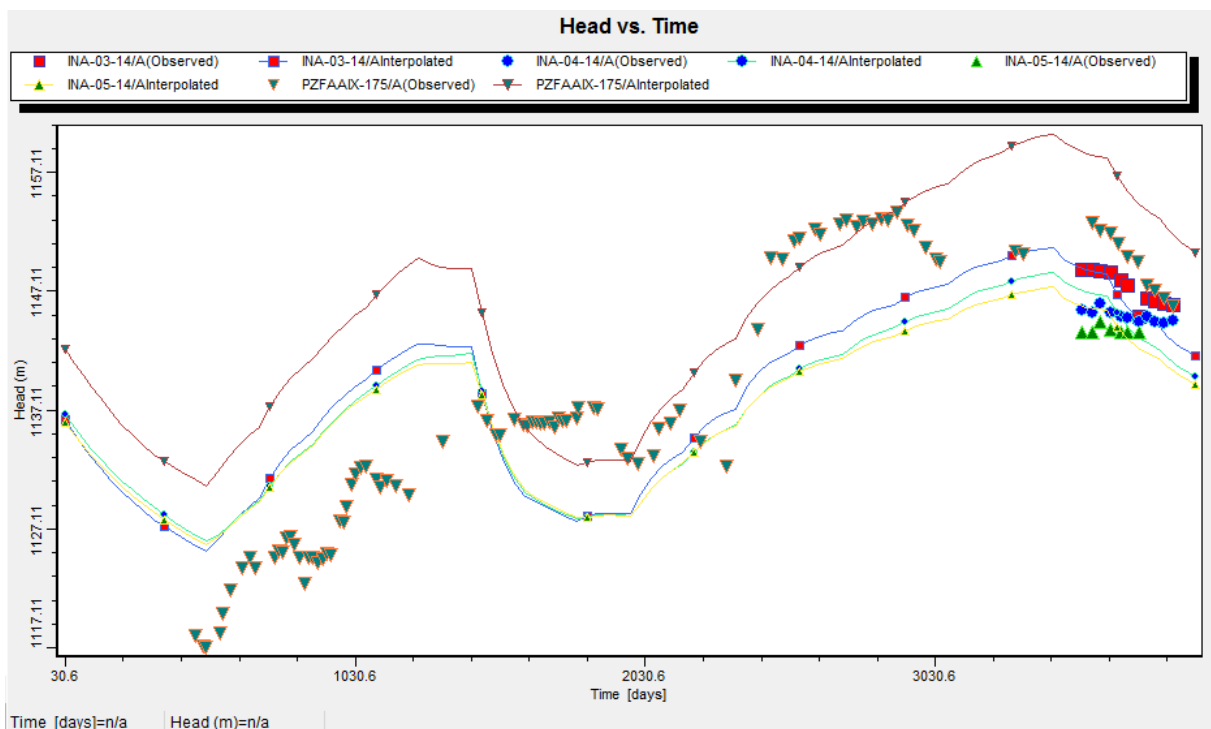
observar que para mais de 75% dos instrumentos o modelo registrou erros inferiores a 11,2 metros.

**Tabela 7.5: Estatísticas dos erros absolutos obtidos para cada instrumento na calibração em regime transiente**

Faixas	<5,4	5,4< e <11,2	>11,2
Nº de instrumentos em cada faixa	51	26	22
% de instrumentos em cada faixa	52%	26%	22%

A evolução dos resultados da calibração dos níveis d'água em regime transiente são apresentados nos gráficos das Figuras 8.11 a 8.22 organizados segundo áreas de cavas (9, 10, Segredo/Ponto 3, e Ponto 2), e ainda segundo a unidade hidrogeológica monitorada pelo instrumento (encaixantes ou formação ferrífera).

Nestes gráficos estão representadas, ao longo do tempo (eixo x), as variações dos níveis monitorados nos instrumentos (curva com pontos) - *observed* - versus o valor calculado pelo modelo (curva com linhas contínuas) - *interpolated*. Desta forma quanto mais próxima à curva de pontos for da curva contínua, melhor é a calibração do nível d'água.



**Figura 7.11:Área IX - Formação Ferrífera.**



ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

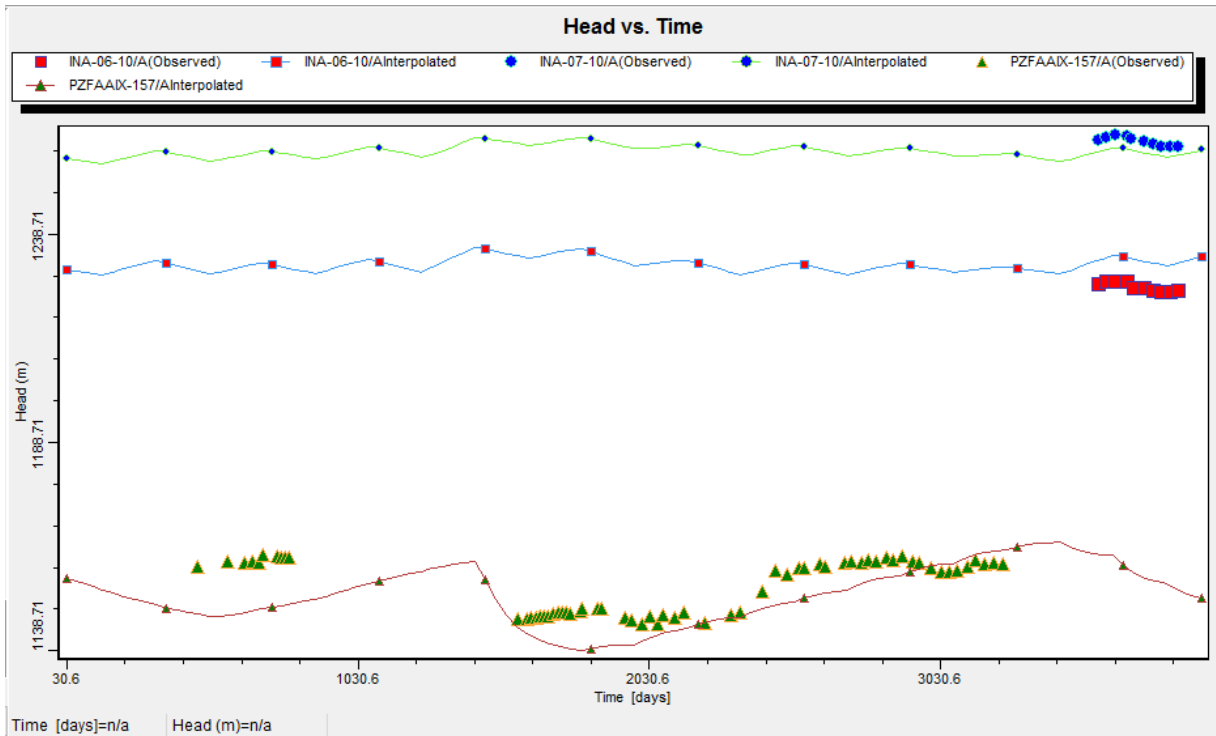


Figura 7.12: Área IX - Encaixantes.

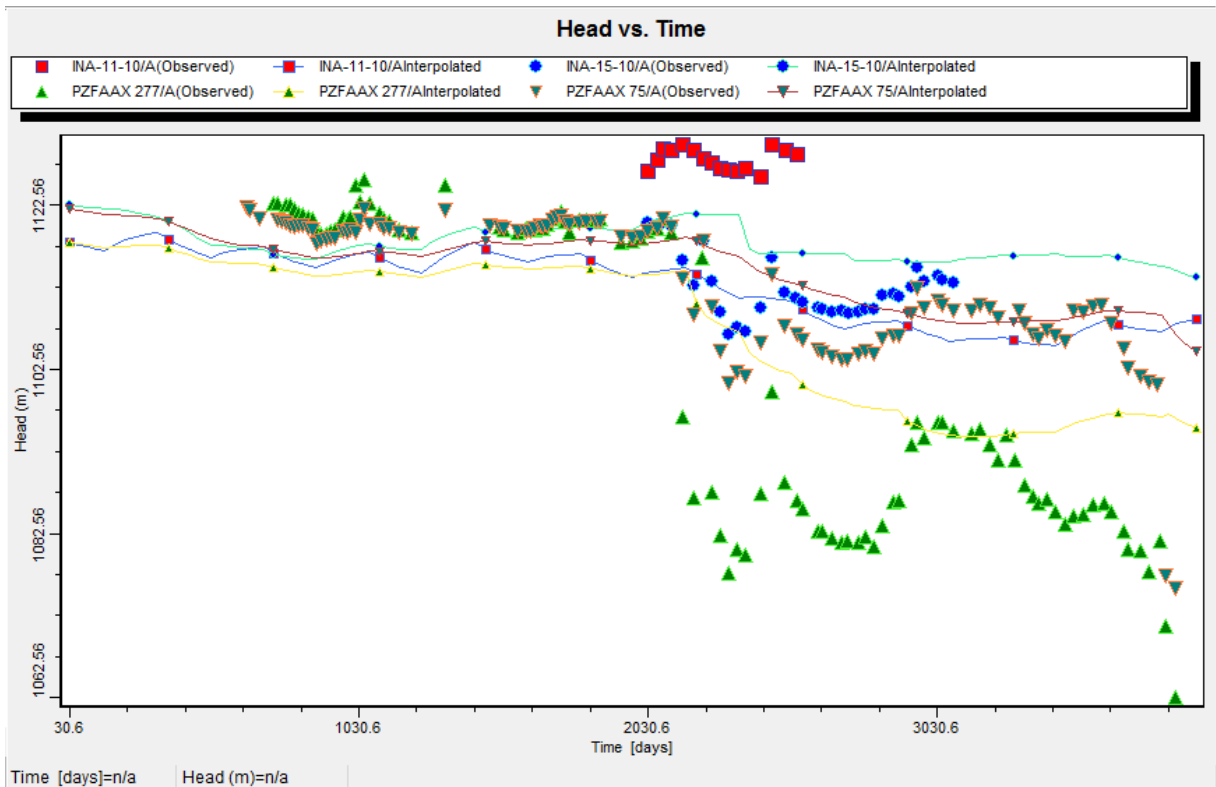


Figura 7.13: Entre Área IX e X - Formação Ferrífera.

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

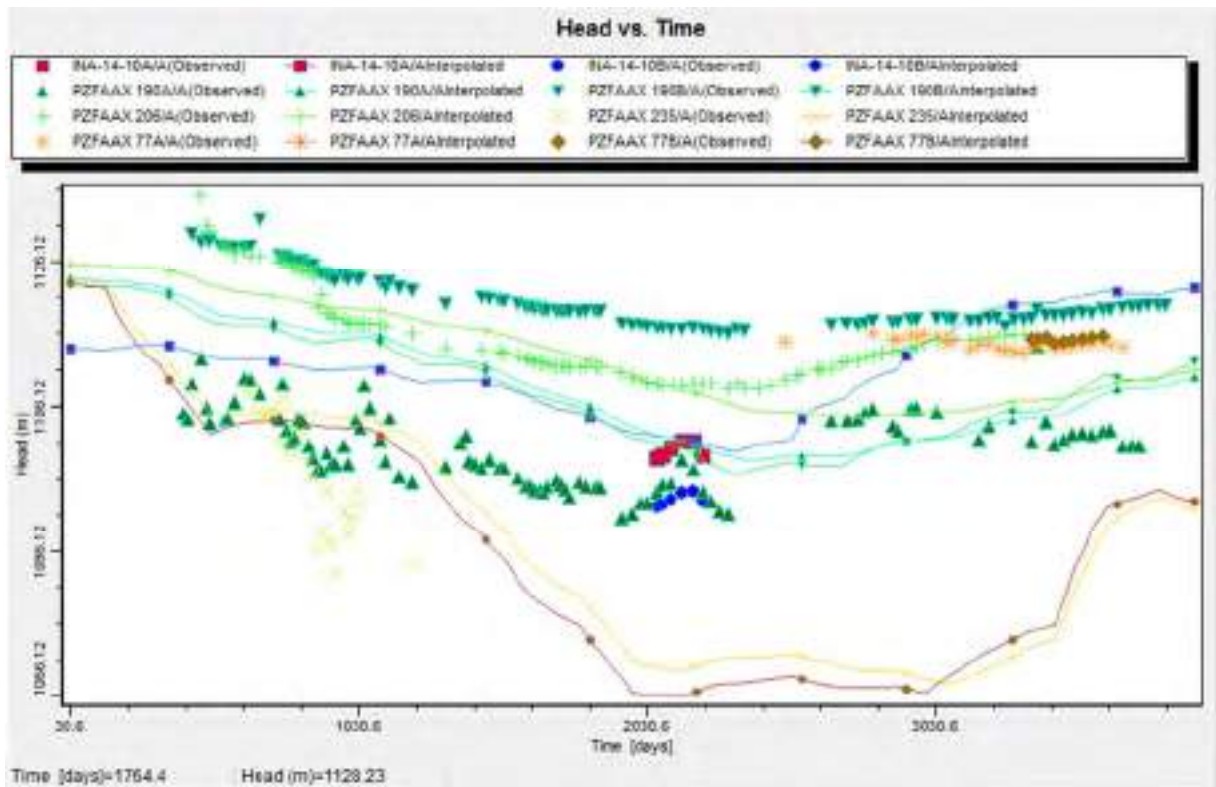


Figura 7.14 : Área X - Formação Ferrífera.

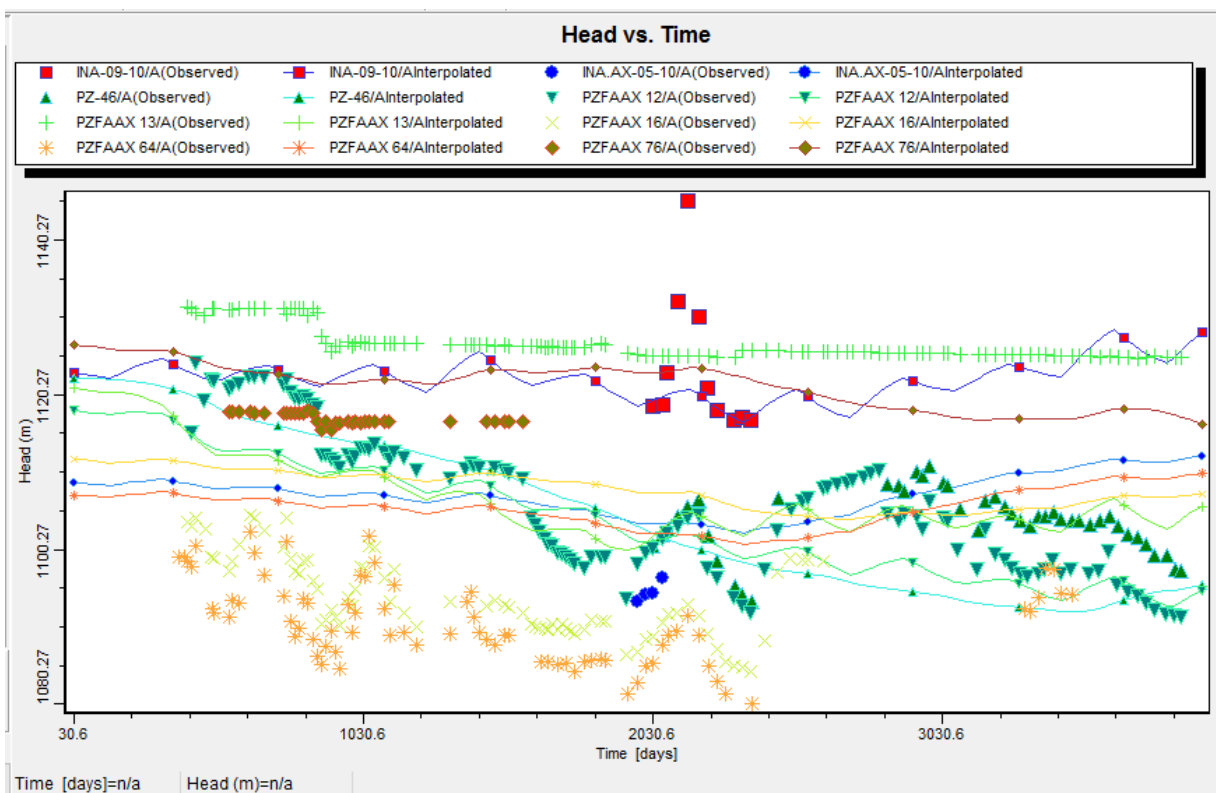


Figura 7.15: Área X - Encaixantes.

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

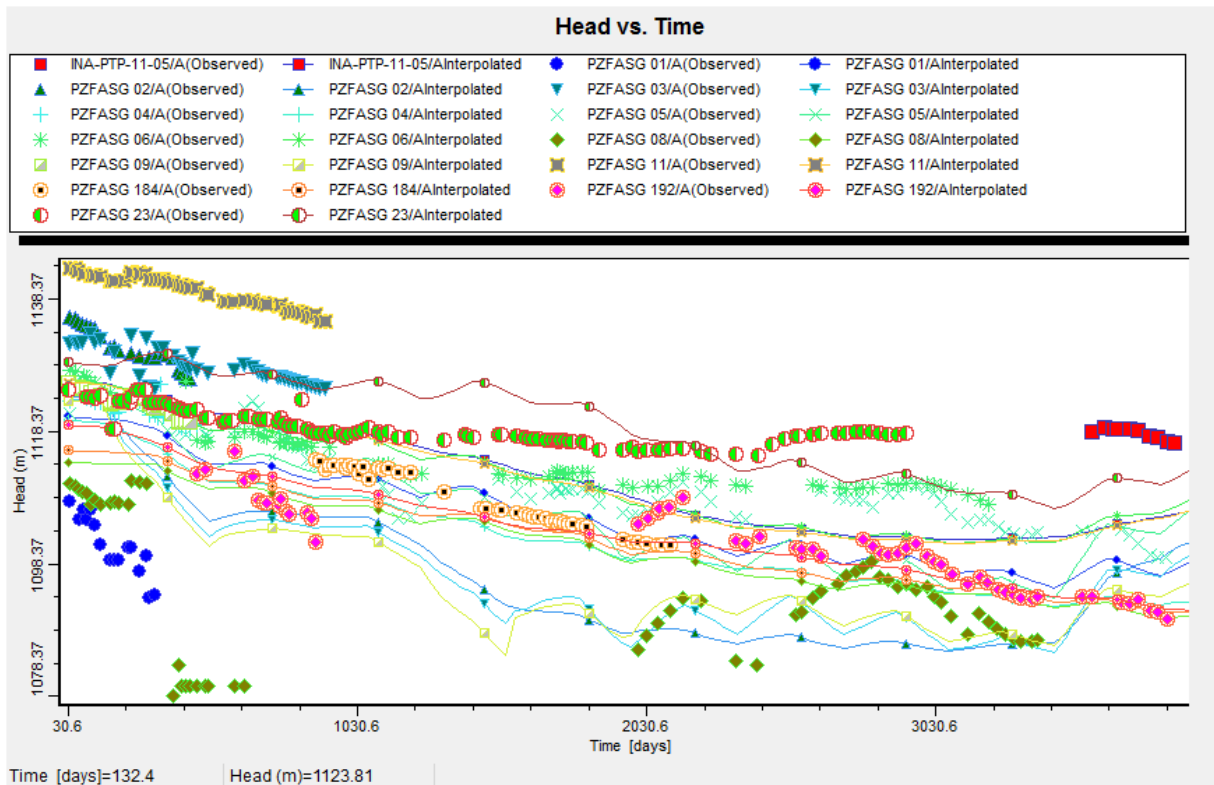


Figura 7.16: Segredo - Formação Ferrífera.

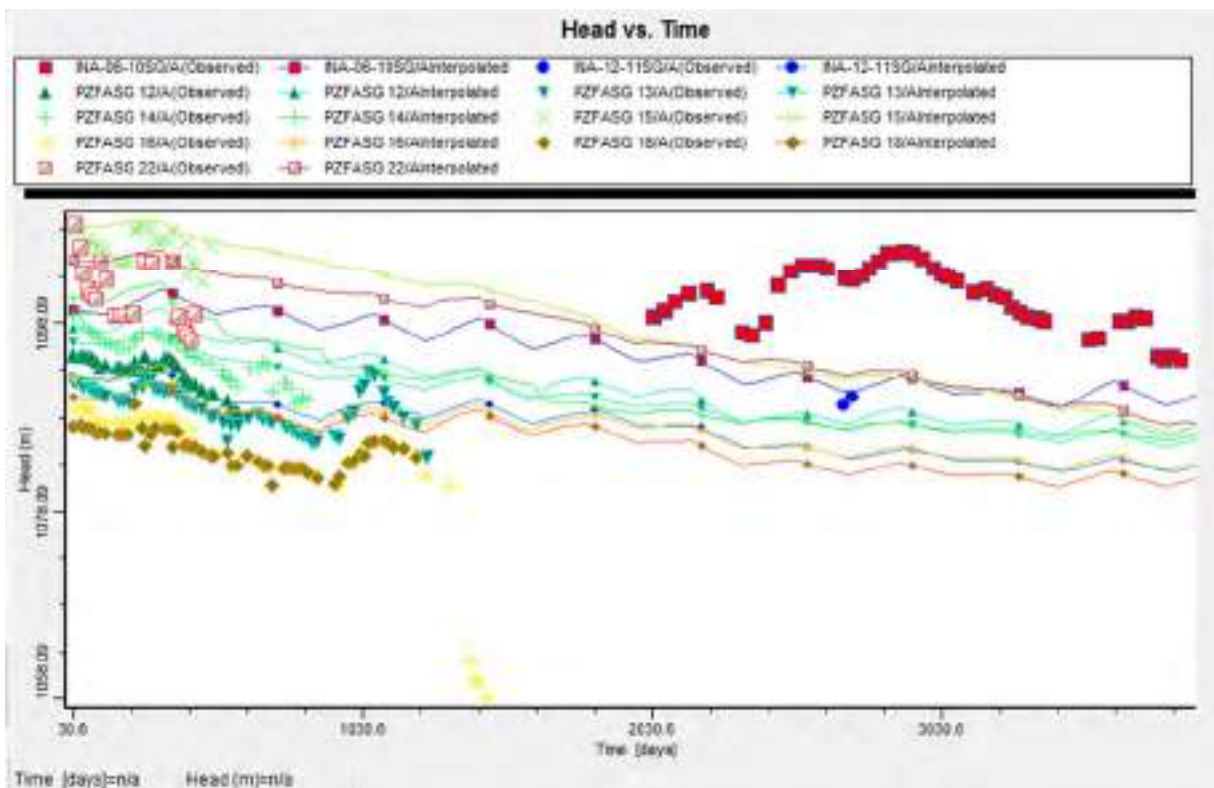


Figura 7.17: Ponto 3 - Formação Ferrífera.

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

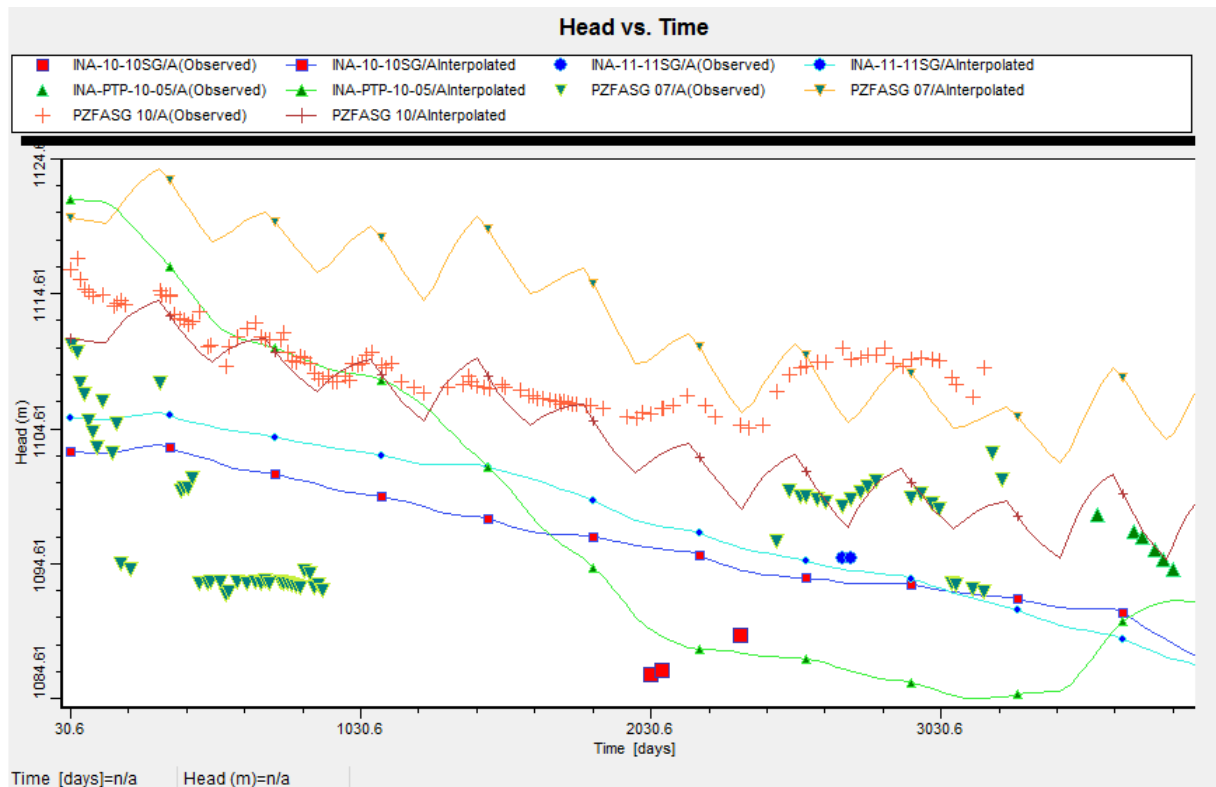


Figura 7.18: Segredo/Ponto 3 - Encaixantes.

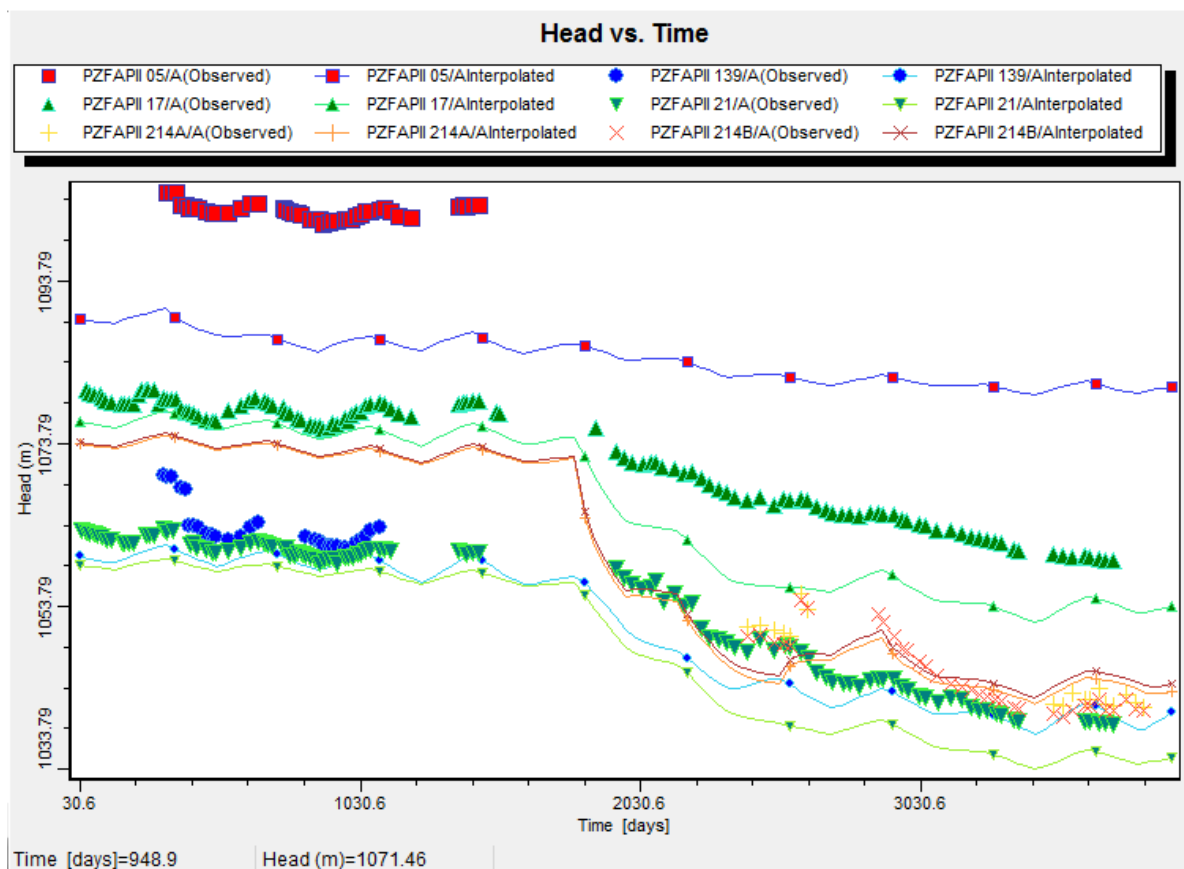


Figura 7.19: Ponto 2 - Formação Ferrífera - NW.

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

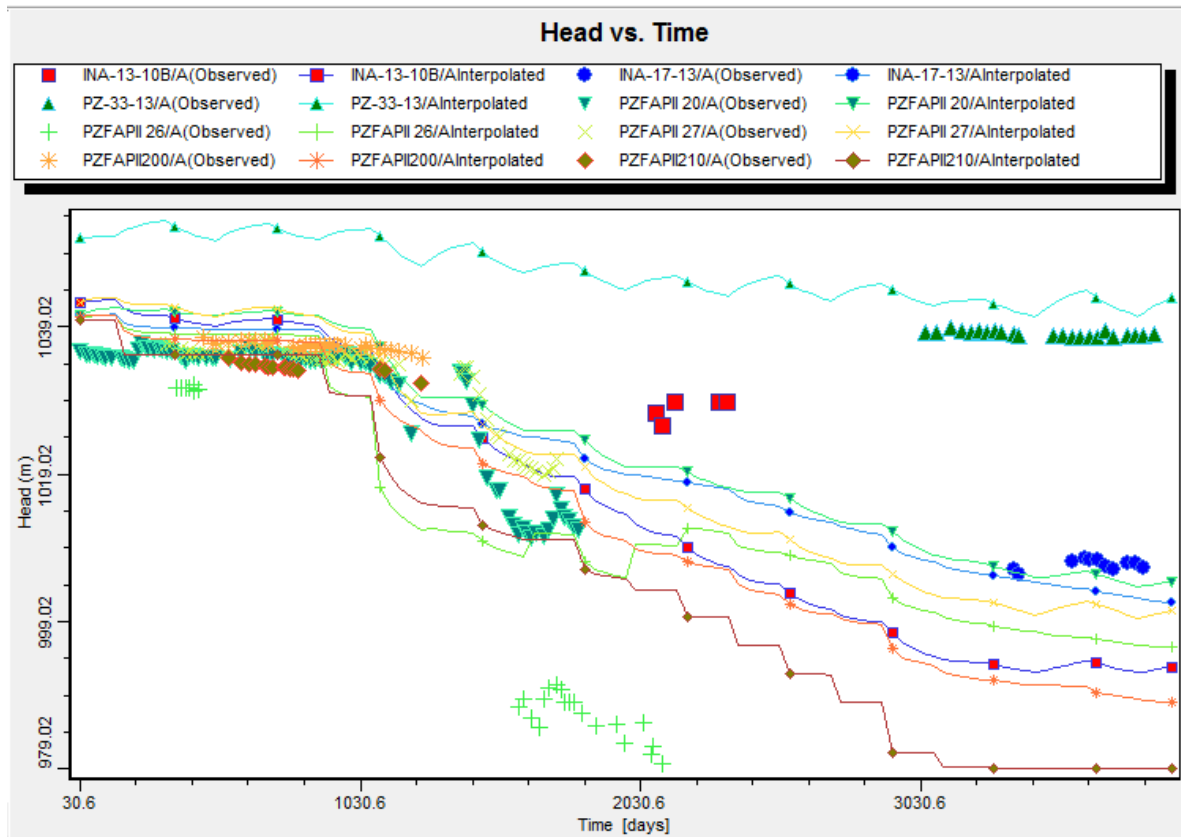


Figura 7.20: Ponto 2 - Formação Ferrífera - Central.

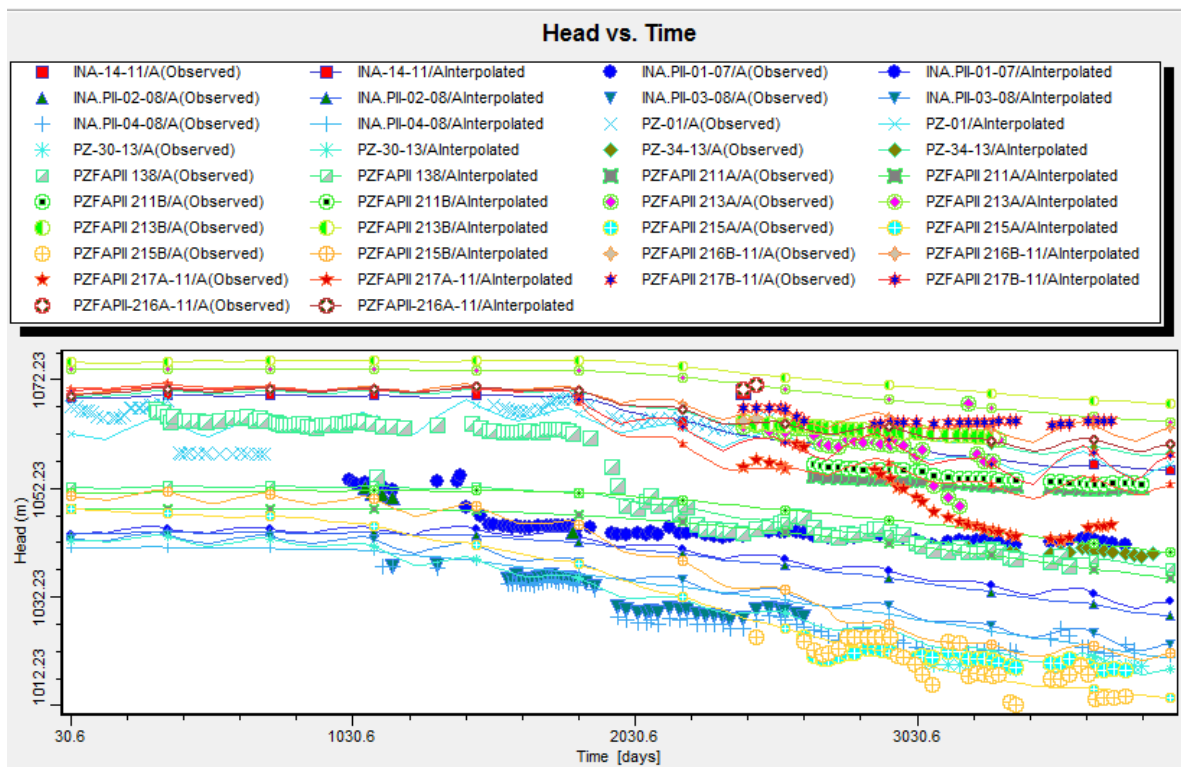


Figura 7.21: Ponto 2 - Encaixantes - Leste.

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

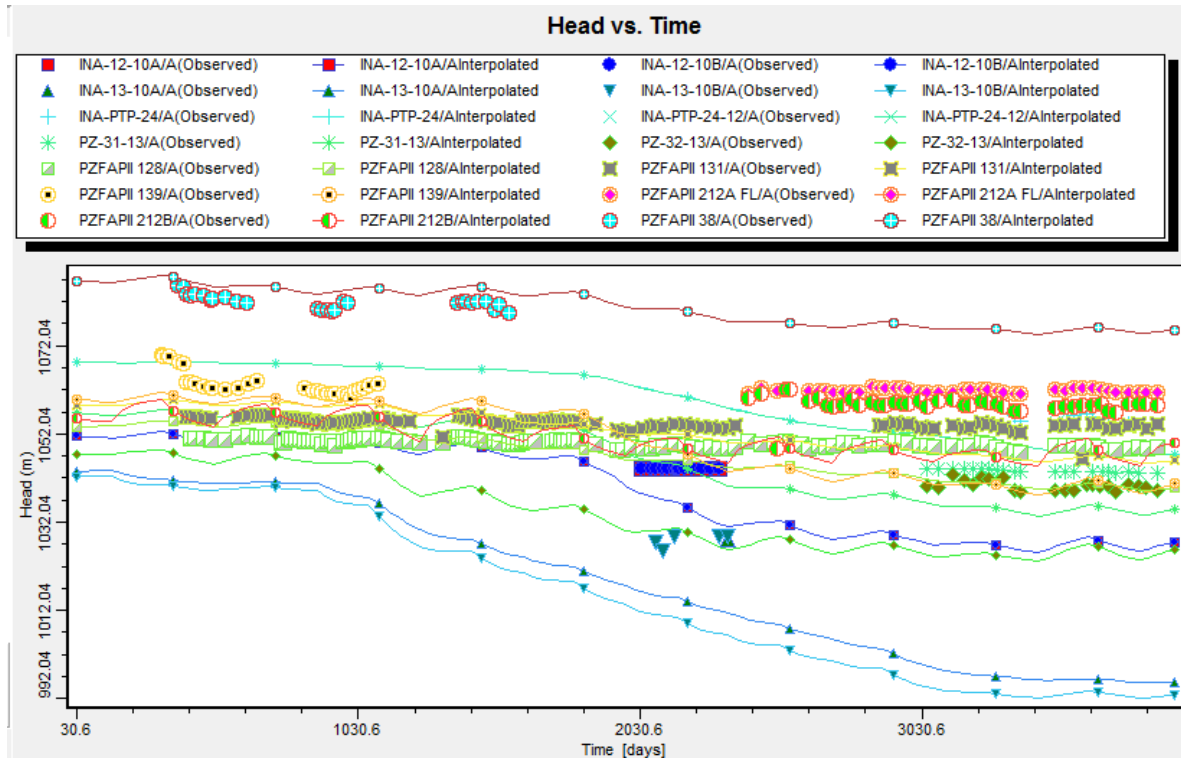


Figura 7.22: Ponto 2 - Encaixantes - Oeste.

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA

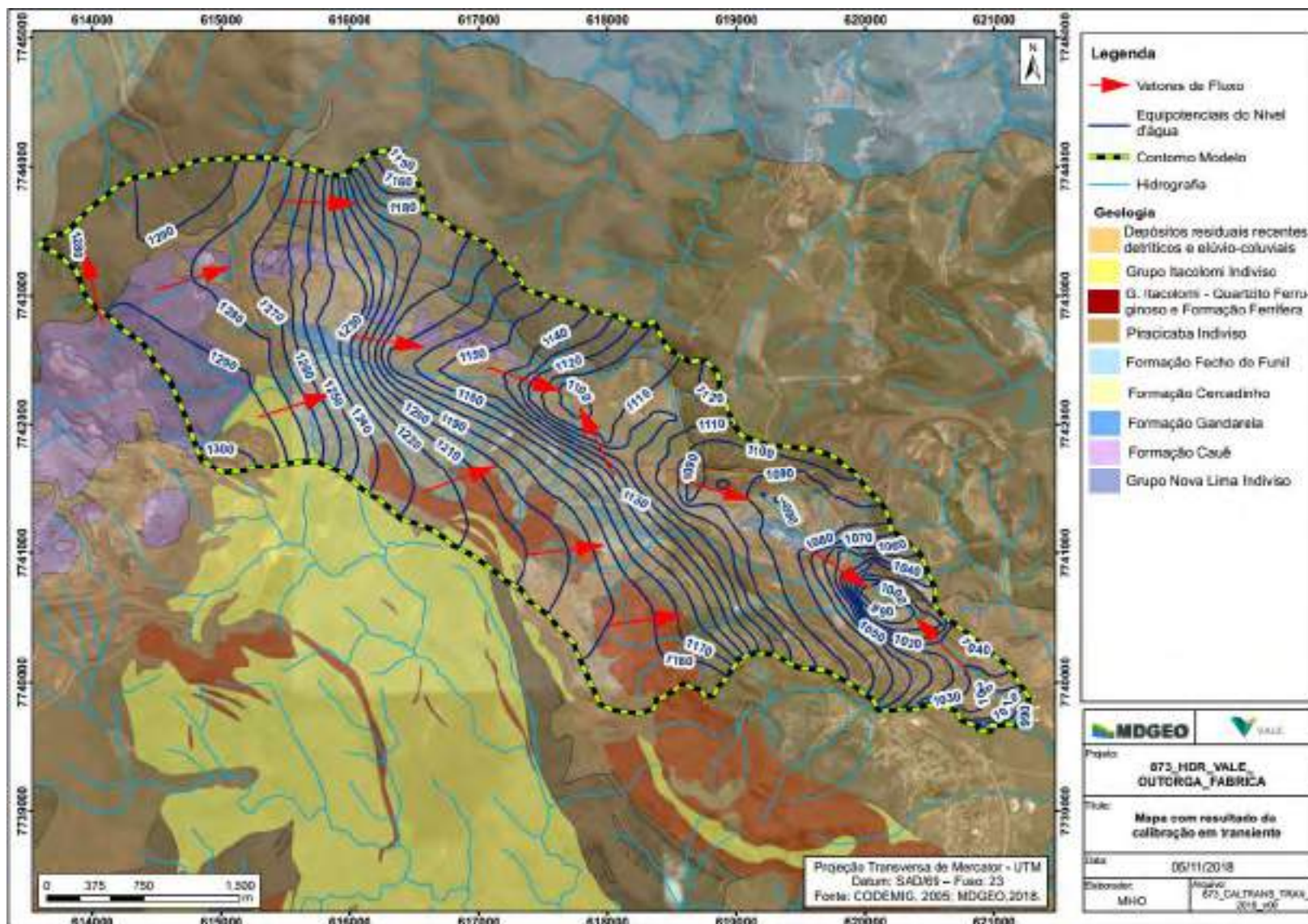
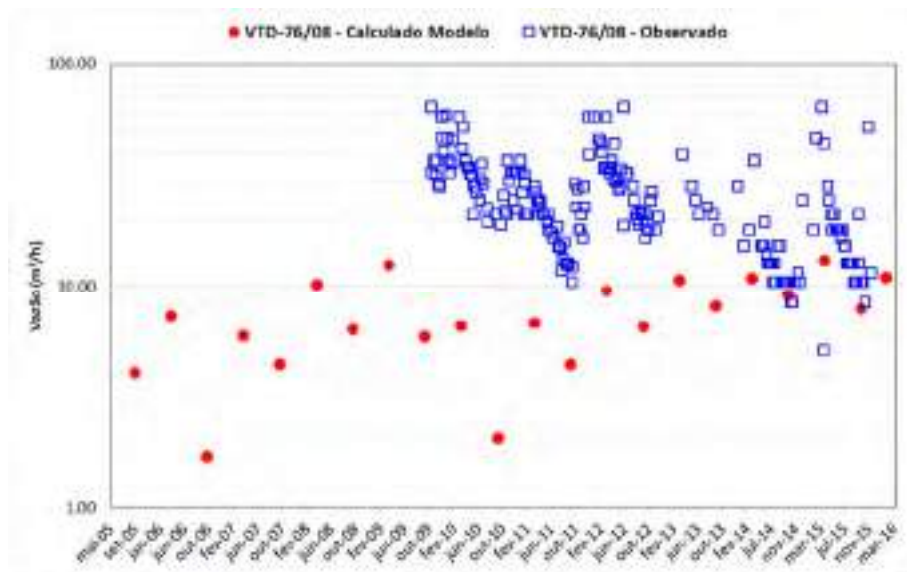
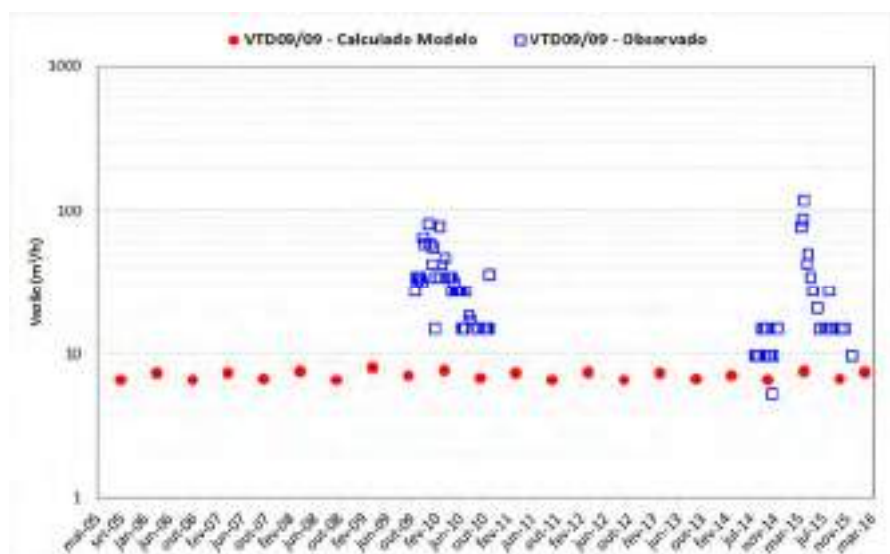


Figura 7.23: Equipotenciais do nível d'água resultantes da calibração em transiente (camada 21 - correspondente a elevação média de 990 m).

Para verificação das vazões de saída do modelo numérico, ao longo do tempo, não foram considerados pontos com interferência antrópica, como saídas de barragem e/ou pilhas de estéril, pois o objetivo é avaliar as saídas naturais de água subterrânea. Desta forma, a verificação foi realizada apenas para os pontos VTD76/08 (Trecho Afluente Rib. da Prata - Figura 7.24) e VTD09/09 (Trecho Afluente do Almas - Figura 7.25). A Tabela 7.6 mostra os resultados de vazão para todos os demais cursos d'água e condições de contorno representadas no modelo numérico, no último período da calibração em transiente correspondente ao mês de janeiro-2016.



**Figura 7.24:** Vazões monitoradas e calculadas pelo modelo numérico para o VTD 76/08 - Rib. da Prata.



**Figura 7.25:** Vazões monitoradas e calculadas pelo modelo numérico para o VTD- VTD 09/09 - Afluente do Cor. das Almas.

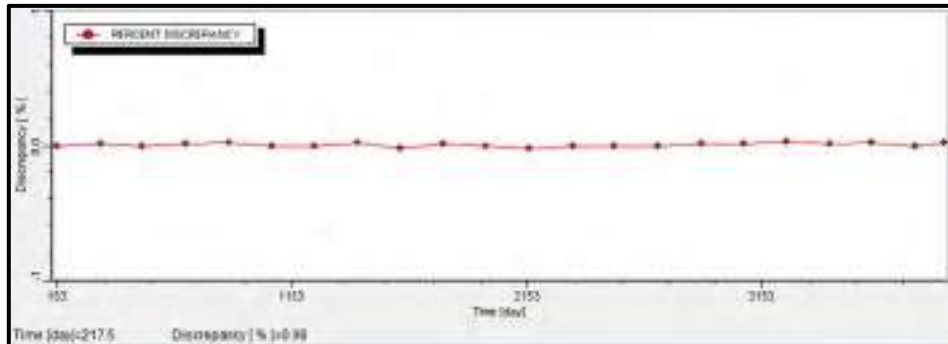


**Tabela 7.6: Resultados de vazão obtidos ao final da calibração em transiente**

Bacia	Zone Budget	Condição de Contorno associada	Descrição e Ponto de Monitoramento Associado	Dados de monitoramento	Parâmetros ajustados na calibração		Vazão Esperada (m³/h)	Vazão Esperada (m³/dia)	Vazão Transiente (m³/h) jan-2016	Vazão Transiente (m³/d) jan-2016
					Carga Hidráulica	Condutância (m²/dia)				
-	1	GHB	Lago Área 9	Não há	1140	10	-	-	356,10	8546,50
	2*	GHB	Continuidade de fluxo na formação ferrífera	Não há	1300	200	-	-	256,90	6165,70
Córrego das Almas	3	Drenos	Afluente do Almas	Não há	1325 a 1220	1000	-	-	4,24	101,80
	4	Drenos	Afluente do Almas	Não há	1261 a 1201	1000	-	-	3,85	92,50
	5	Drenos	Trecho Afluente do Almas a montante do FABAITAMT015 (VTD09/09)	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	1201 1121	0,1 a 1	Entre 5 e 15	Entre 120 e 360	7,25	174,00
	6	Drenos	Trecho Afluente do Almas a jusante do FAB_VZ-09/09	Não há	1220 a 1120	0,1 a 1000	-	-	6,25	150,08
	3 + 4 + 5 + 6		<b>Afluentes do Almas</b>	-	-	-	-	-	<b>21,60</b>	<b>518,38</b>
Rib. da Prata	7	Drenos	Trecho Afluente Rib. da Prata a montante FAB_VZ-76/08	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	1201 a 1130	10000	Entre 8 e 20	Entre 192 e 480	10,73	257,62
	8	Drenos	Trecho Afluente Rib. da Prata a jusante do FAB_VZ-76/08	Não há	1130 a 1121	100 a 1000	-	-	10,47	251,22
	10	Drenos	Galeria Área 9	Informação Vale (2015)	1137	500	<120	2880	0,00	0,00
	11	Drenos	Afluente Rib. da Prata (Nascentes do Alto Jacutinga)	Não há	1205 a 1121	1000	-	-	25,83	620,00
	12	Drenos	Rib. da Prata - Jusante CB03 FAB_VZ-08/12 e FAB_VZ-08/09	Monitoramento Vale (2012 a 2015)	1121 a 1081	1 a 1000	Entre 30 e 50	Entre 720 e 1200	63,29	1519,00
	7 + 8 + 10 + 11 + 12		-	-	-	-	-	<b>110,33</b>	<b>2647,84</b>	
Cór. Água Santa	14	Drenos	Cór. Água Santa (Nascente S13+S14)	Não há	1101 a 1035	1000	-	-	6,04	145,00
	19	Potencial Constante	P20 (Nascente Água Santa)	Água (2004) e Monitoramento Namisa	990	1000	Entre 240 e 280	Entre 5760 e 6720	259,50	6228,00
	13 + 14 + 19		-	-	-	-	-	<b>265,54</b>	<b>6373,00</b>	
Córrego Cordeiro	15	Drenos	FAB_VZ-jmendes/05	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	1165 a 1130	1000	Entre 3 e 10	Entre 72 e 240	6,88	165,00
	16	Drenos	P10A + P10B (Nascentes S04)	Água (2003)	1165 a 1140	1000	137	3288	54,08	1298,00
	17	Drenos	-	Não há	1140 a 1101	0,1	-	-	0,05	1,30
	15 + 16 + 17		-	-	-	-	-	<b>61,01</b>	<b>1464,30</b>	
Cór. Água Santa, Cordeiro e Ponciana	18	Drenos	Cór. Água Santa, Cór. Cordeiro e Ponciana Trecho jusante da cava do ponto 2	-	1035 a 990	1000	-	-	8,88	213,00
	14+19+15+16+17+18		-	-	-	-	-	<b>335,43</b>	<b>8050,30</b>	
-	9	Drenos	Sump Entre Áreas 9 e 10	Não há	1100	1000	-	-	25,93	622,26
	22	Drenos	Sump Ponto 3	Não há	1085	1000	-	-	8,92	214,00
-	23	Drenos	Sump Ponto 2	Informação Vale (e-mail - mai a ago 2016)	978	1000	Entre 180 e 225	Entre 4320 e 5400	151,17	3628
-	24	GHB	Lago Área 10	Não há	1135	1,5 a 5	-	-	101,17	2428
-	-	Poços de Bomb.	Poços de bombeamento	Monitoramento Vale (2005 a 2015)	-	-	743,86	17852,68	743,86	17852,66

\*Estrutura cede água para o aquífero

Com relação à discrepância entre os valores totais de água subterrânea que entram e que saem do sistema modelado (Figura 7.26), estes foram inferiores a 1% (critério de qualidade adotado comumente em modelos numéricos) em todos os períodos da calibração, atestando a boa qualidade da calibração do modelo.



**Figura 7.26: Variação da discrepância entre as vazões totais de água subterrânea que entram e que saem do sistema.**

## 8 SIMULAÇÕES DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA SUBTERRÂNEO

Por meio do modelo hidrogeológico numérico elaborado em 2016 e calibrado nos regimes de escoamento permanente (com dados de abril-2015) e transiente (com dados de maio de 2005 a janeiro de 2016), procederam-se as simulações numéricas do rebaixamento do nível em regime transiente, de acordo com o novo sequenciamento de lavra disponibilizado pela VALE. As características construtivas do modelo utilizado e resultados das calibrações realizadas foram apresentadas no capítulo 4.

As condições de nível d'água resultantes do modelo calibrado em transiente, foram utilizadas como superfície inicial da simulação de rebaixamento do nível d'água, a partir da importação dos resultados do último período de *stress*, correspondente a janeiro de 2016.

O objetivo das simulações descritas a seguir foi introduzir estruturas de captação de água subterrânea no modelo de forma atender ao desaguamento demandado pelas cavas planejadas, visando prever o volume de água subterrânea explotado, as estruturas necessárias, a evolução do nível d'água subterrâneo, e os possíveis impactos resultantes do desaguamento nos recursos hídricos locais.

Nos itens seguintes apresentam-se a metodologia numérica empregada e os resultados obtidos nas simulações realizadas.

### 8.1 DADOS DE ENTRADA

#### 8.1.1 Planejamento de Lavra Utilizado

Para este trabalho foi utilizado o planejamento de lavra vigente e licenciado na ocasião do desenvolvimento do estudo (out/2018), correspondente às cavas disponíveis para os próximos 30 anos de operação da mina de Fábrica (2018 a 2048), para as áreas 8, 9, 9½, 10, Segredo e Ponto (15) e Ponto 2 (18).

Os arquivos contendo o planejamento previsto foram disponibilizados pela Vale em formato “.dxf”, já divididos pela própria contratante em grupos segundo o horizonte da lavra (curto, médio e longo prazo). Conforme listado a seguir, até o ano de 2025 foram disponibilizados planos de lavra de ano a ano; entre os anos de 2025 e 2045, a

cada 5 anos; e fechando o período de lavra considerado, foi disponibilizado um arquivo com a cava prevista para o ano de 2048.

### CURTO E MÉDIO PRAZO

- Plano de lavra ano 2018: *plano\_2018r06\_Fabrica.dxf*;
- Plano de lavra ano 2019: *Plano\_2019r7\_Fabrica.dxf*;
- Plano de lavra ano 2020: *plano\_2020\_revfim.dxf*;

### LONGO PRAZO

- Plano de lavra ano 2021: *pla\_c2018seml\_2021.dxf*;
- Plano de lavra ano 2022: *pla\_c2018seml\_2022.dxf*;
- Plano de lavra ano 2023: *pla\_c2018seml\_2023.dxf*;
- Plano de lavra ano 2024: *pla\_c2018seml\_2024.dxf*;
- Plano de lavra ano 2025: *pla\_c2018seml\_2025.dxf*;
- Plano de lavra ano 2030: *pla\_c2018seml\_2030.dxf*;
- Plano de lavra ano 2035: *pla\_c2018seml\_2035.dxf*;
- Plano de lavra ano 2040: *pla\_c2018seml\_2040.dxf*;
- Plano de lavra ano 2045: *pla\_c2018seml\_2045.dxf*;
- Plano de lavra ano 2048: *pla\_c2018seml\_2048.dxf*;

A Tabela 8.1 a seguir aponta algumas das características dos planos de lavra disponibilizados, evidenciado os avanços em profundidade (sem considerar os avanços laterais) no decorrer dos anos por área de lavra, e o mínimo rebaixamento necessário para atendimento dos mesmos, com base no nível d'água obtido para setembro de 2018 no próprio modelo numérico.

Até 2025 são observados avanços laterais e em profundidade nas áreas 8, 9 ½, Segredo e Ponto3, e Ponto 2. A partir de 2025 a lavra nas áreas 9 ½, Segredo e Ponto3, e Ponto 2 é paralisada. Entre 2025 e 2030 são observados avanços apenas na área 8, e a partir de 2030 há indícios de lavra na área 9 e em sua interface com a área 9 ½.

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**
**Tabela 8.1: Resumo da evolução do planejamento de lavra da Mina de Fábrica (2018 a 2048)**

Área	Arquivo	Ano	Cota Bottom Pit (m)	Avanço em prof. por plano de lavra (m)	Avanço acumulado (m)	Nível d'água do modelo em set-18 (m)	Mínimo rebaixamento necessário (m)
8	TP_GL_220318.dwg	mar/18	1236	-	-	1236	103
	plano_2018r06_Fabrica.dxf	dez/18	1238	0	0		
	plano_2019r7_Fabrica.dxf	dez/19	1233	3	3		
	plano_2020_revfim.dxf	dez/20	1233	0	3		
	pla_c2018seml_2021.dxf	dez/21	1233	0	3		
	pla_c2018seml_2022.dxf	dez/22	1233	0	3		
	pla_c2018seml_2023.dxf	dez/23	1233	0	3		
	pla_c2018seml_2024.dxf	dez/24	1233	0	3		
	pla_c2018seml_2025.dxf	dez/25	1233	0	3		
	pla_c2018seml_2030.dxf	dez/30	1133	100	103		
	pla_c2018seml_2035.dxf	dez/35	1133	0	103		
	pla_c2018seml_2040.dxf	dez/40	1133	0	103		
	pla_c2018seml_2045.dxf	dez/45	1133	0	103		
pla_c2018seml_2048.dxf	dez/48	1133	0	103			
9	TP_GL_220318.dwg	mar/18	1226	-	-	1190	137
	plano_2018r06_Fabrica.dxf	dez/18	1223	3	3		
	plano_2019r7_Fabrica.dxf	dez/19	1223	0	3		
	plano_2020_revfim.dxf	dez/20	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2021.dxf	dez/21	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2022.dxf	dez/22	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2023.dxf	dez/23	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2024.dxf	dez/24	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2025.dxf	dez/25	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2030.dxf	dez/30	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2035.dxf	dez/35	1223	0	3		
	pla_c2018seml_2040.dxf	dez/40	1143	80	83		
	pla_c2018seml_2045.dxf	dez/45	1053	90	173		
pla_c2018seml_2048.dxf	dez/48	1053	0	173			
9 1/2	TP_GL_220318.dwg	mar/18	1100	-	-	1100	57
	plano_2018r06_Fabrica.dxf	dez/18	1083	17	17		
	plano_2019r7_Fabrica.dxf	dez/19	1083	0	17		
	plano_2020_revfim.dxf	dez/20	1083	0	17		
	pla_c2018seml_2021.dxf	dez/21	1043	40	57		
	pla_c2018seml_2022.dxf	dez/22	1043	0	57		
	pla_c2018seml_2023.dxf	dez/23	1043	0	57		
	pla_c2018seml_2024.dxf	dez/24	1043	0	57		
	pla_c2018seml_2025.dxf	dez/25	1043	0	57		
	pla_c2018seml_2030.dxf	dez/30	1043	0	57		
	pla_c2018seml_2035.dxf	dez/35	1043	0	57		

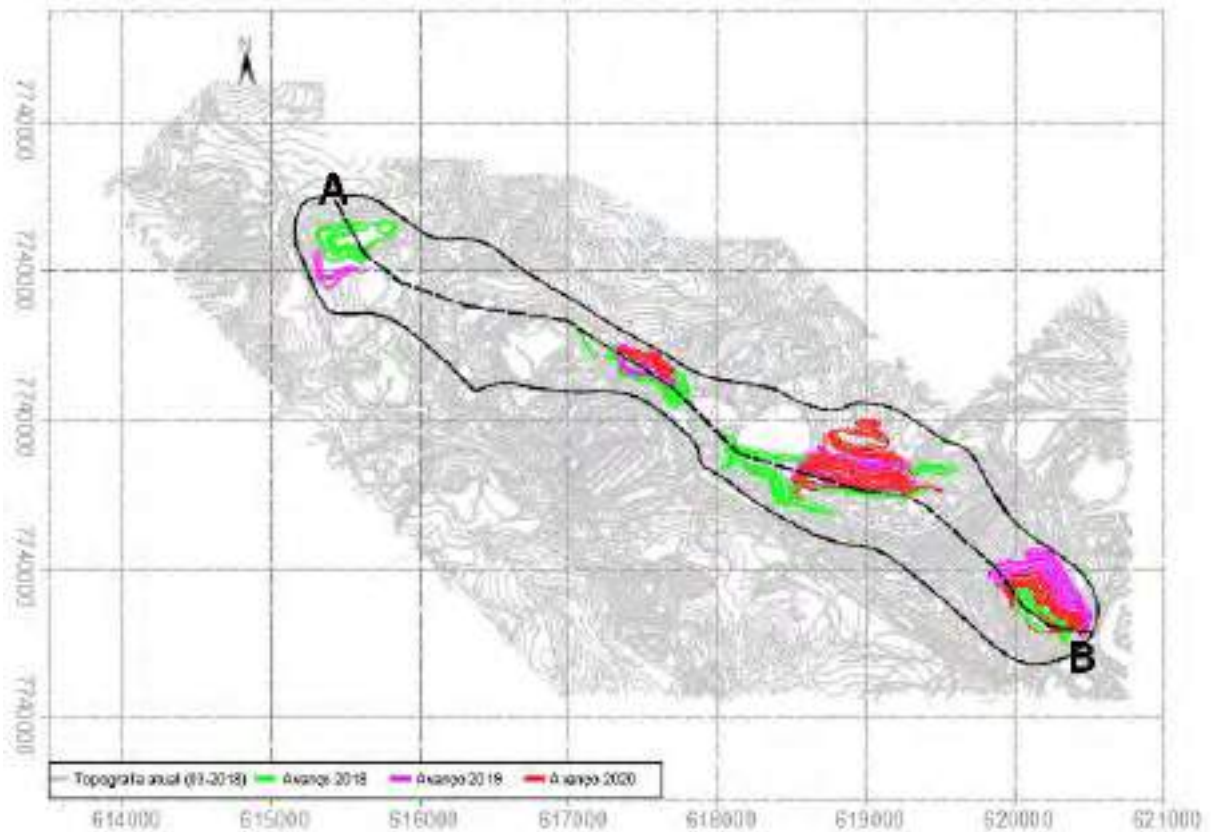
**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

Área	Arquivo	Ano	Cota Bottom Pit (m)	Avanço em prof. por plano de lavra (m)	Avanço acumulado (m)	Nível d'água do modelo em set-18 (m)	Mínimo rebaixamento necessário (m)
	pla_c2018semi_2040.dxf	dez/40	1043	0	57		
	pla_c2018semi_2045.dxf	dez/45	1043	0	57		
	pla_c2018semi_2048.dxf	dez/48	1043	0	57		
15	TP_GL_220318.dwg	mar/18	1088	-	-	1088	70
	plano_2018r06_Fabrica.dxf	dez/18	1088	0	0		
	plano_2019r7_Fabrica.dxf	dez/19	1088	0	0		
	plano_2020_revfim.dxf	dez/20	1088	0	0		
	pla_c2018semi_2021.dxf	dez/21	1053	35	35		
	pla_c2018semi_2022.dxf	dez/22	1053	0	35		
	pla_c2018semi_2023.dxf	dez/23	1053	0	35		
	pla_c2018semi_2024.dxf	dez/24	1023	30	65		
	pla_c2018semi_2025.dxf	dez/25	1018	5	70		
	pla_c2018semi_2030.dxf	dez/30	1018	0	70		
	pla_c2018semi_2035.dxf	dez/35	1018	0	70		
	pla_c2018semi_2040.dxf	dez/40	1018	0	70		
	pla_c2018semi_2045.dxf	dez/45	1018	0	70		
	pla_c2018semi_2048.dxf	dez/48	1018	0	70		
18	TP_GL_220318.dwg	mar/18	976	-	-	976	83
	plano_2018r06_Fabrica.dxf	dez/18	967	9	9		
	plano_2019r7_Fabrica.dxf	dez/19	970	0	9		
	plano_2020_revfim.dxf	dez/20	970	0	9		
	pla_c2018semi_2021.dxf	dez/21	968	0	9		
	pla_c2018semi_2022.dxf	dez/22	963	5	14		
	pla_c2018semi_2023.dxf	dez/23	953	10	24		
	pla_c2018semi_2024.dxf	dez/24	933	20	44		
	pla_c2018semi_2025.dxf	dez/25	893	40	84		
	pla_c2018semi_2030.dxf	dez/30	893	0	84		
	pla_c2018semi_2035.dxf	dez/35	893	0	84		
	pla_c2018semi_2040.dxf	dez/40	893	0	84		
	pla_c2018semi_2045.dxf	dez/45	893	0	84		
	pla_c2018semi_2048.dxf	dez/48	893	0	84		

\* Calculado com base no nível atual na área do *bottom pit de cada cava*. Rebaixamentos maiores poderão ser necessários em função dos avanços laterais das cavas.

A Figura 8.1 a seguir mostra uma sobreposição dos avanços de lavra planejados apenas para os anos de 2018 e 2020, correspondentes aos horizontes de curto e médio prazo, uma vez que nos arquivos disponibilizados para esse período, as regiões de avanço encontram-se bem definidas e destacadas.

Como nas demais cavas as regiões de avanço da lavra não encontram-se destacadas, a evolução das cavas é ilustrada apenas no perfil da Figura 8.2, que também apresenta a posição do nível d'água obtido com base no potenciométrico revisado e apresentado no capítulo 6.



**Figura 8.1: Sobreposição das áreas de avanços planejados para os anos de 2018 a 2020.**

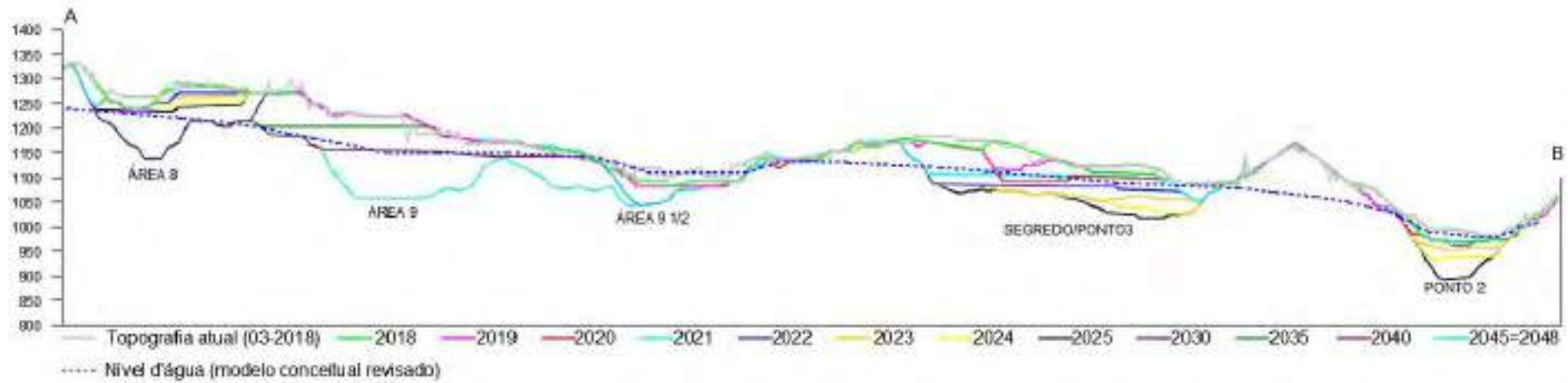


Figura 8.2: Sobreposição em perfil das áreas de avanços planejados para os anos de 2018 a 2048.



Observa-se que a cava da área 8 avança apenas 3 metros em profundidade até 2019, e entre 2025 e 2030 avança cerca de 100 metros. Apesar de na prática esta cava ainda não ter interceptado o nível d'água, o modelo numérico mostra um nível d'água superior a topografia atual da mesma, visto que entre 2016 e 2018 houve um avanço de aproximadamente 45 metros em profundidade. Dessa forma, com base no modelo numérico será necessário um rebaixamento da ordem de 103 metros para atendimento da lavra prevista.

Ainda sobre a cava da área 8, vale ressaltar que essa região não possuía instrumentação para validar os resultados de nível d'água calibrados no modelo numérico em 2016, sendo o monitoramento iniciado na região em período posterior a junho de 2018, conforme mostrado no capítulo 4. Desta forma, recomenda-se a ampliação da rede monitoramento nessa região, e a partir dos novos dados coletados, recomenda-se a verificação da representação da posição do nível água subterrâneo a partir da atualização dos modelos conceitual e numérico, o que possibilitará a verificação dos prognósticos obtidos nas simulações numéricas para essa área.

Conforme mencionado, na área denominada 9, a cava avança tanto em profundidade como lateralmente apenas após o ano de 2030, e chega em sua maior profundidade no ano de 2045 (cota 1053 m). Com base nos níveis d'água subterrâneo apontados pelo modelo numérico nessa região, será necessário um rebaixamento da ordem de 137 metros para atendimento da lavra prevista.

A cava planejada para a área 9 ½ avança aproximadamente 17 metros em profundidade já em 2018; nos anos 2019 e 2020 são observados apenas avanços laterais; e em 2021 nota-se um avanço de 40 metros em profundidade, na qual a cava atinge a cota de 1043 m. Estando o nível d'água aflorando nesta região, e, portanto, na cota aproximada de 1100 metros, será necessário um rebaixamento mínimo também da ordem de 57 metros. Após 2021, o planejamento de lavra disponível prevê apenas avanços laterais após 2030, a partir do início da lavra na área 9.

Na cava Segredo que se junta ao Ponto 3, o avanço em profundidade previsto é da ordem de 35 metros, entre os anos de 2020 e 2021, e mais 35 metros entre 2023 e 2025, totalizando 70 metros. Em 2024 a cava do Segredo se expande lateralmente em direção à cava da área 10, lavrando parte da área na qual atualmente encontra-se preenchida de rejeito. O rebaixamento mínimo necessário para atendimento da lavra cava Segredo/ Ponto 3 até 2025 será da ordem de 70 metros.

Com relação ao planejamento de lavra do Ponto 2, este prevê um avanço em profundidade da ordem de 9 metros já no ano de 2018, o que indica a necessidade de um rebaixamento também de 9 metros para atendimento da lavra, uma vez que esta cava se encontra com o *bottom* atualmente alagado. Esta cava volta a avançar em profundidade após o ano de 2021, chegando a cota de 893 metros em 2025, o que representa um aprofundamento global de 84 metros, valor este que indica também o mínimo rebaixamento necessário.

Visando detalhar o planejamento de lavra simulado, o Anexo III mostra zons do sequenciamento de lavra (2018 a 2048) para cada uma das áreas que compõem a Mina de Fábrica. Para os anos em que não há atividade de lavra prevista para a área não serão apresentadas as imagens do plano de lavra.

### 8.1.2 Condição Temporal

A simulação do rebaixamento do nível d'água subterrâneo compreendeu um período de aproximadamente 33 anos, sendo iniciada em fevereiro 2016 e estendendo-se até dezembro 2048.

A fim de obter melhor representatividade da influência da recarga na simulação, cada ano foi dividido em períodos de tempo trimestrais (entre 2016 e 2025 - janeiro a março; maio a junho; julho a setembro; e outubro a dezembro); e semestrais (entre 2026 e 2048 - maio a setembro e outubro a março).

Sendo assim, a simulação compreendeu um período de 12023 dias, divididos em 91 períodos de tempo, conforme mostra a Tabela 8.2.

**Tabela 8.2: Períodos de tempo da simulação**

	PERÍODO DE STRESS	Período	DATA		DIA MODELO		TOTAL
			INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	
PERÍODO ENTRE FINAL DA CALIBRAÇÃO DO MODELO (MDGEO, 2016) E INÍCIO DO HORIZONTE DE CURTO PRAZO DA LAVRA	1	chuvoso	01/02/2016	31/03/2016	1	60	60
	2	seco	31/03/2016	30/06/2016	60	151	91
	3	seco	30/06/2016	30/09/2016	151	243	92
	4	chuvoso	30/09/2016	31/12/2016	243	335	92
	5	chuvoso	31/12/2016	31/03/2017	335	425	90
	6	seco	31/03/2017	30/06/2017	425	516	91
	7	seco	30/06/2017	30/09/2017	516	608	92
	8	chuvoso	30/09/2017	31/12/2017	608	700	92
CURTO PRAZO	9	chuvoso	31/12/2017	31/03/2018	700	790	90
	10	seco	31/03/2018	30/06/2018	790	881	91
	11	seco	30/06/2018	30/09/2018	881	973	92
	12	chuvoso	30/09/2018	31/12/2018	973	1065	92
	13	chuvoso	31/12/2018	31/03/2019	1065	1155	90
	14	seco	31/03/2019	30/06/2019	1155	1246	91
	15	seco	30/06/2019	30/09/2019	1246	1338	92
	16	chuvoso	30/09/2019	31/12/2019	1338	1430	92
MÉDIO PRAZO	17	chuvoso	31/12/2019	31/03/2020	1430	1521	91
	18	seco	31/03/2020	30/06/2020	1521	1612	91

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

	PERÍODO DE STRESS	Período	DATA		DIA MODELO		TOTAL
			INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	
<b>LONGO PRAZO COM CAVAS DE ANO EM ANO</b>	19	seco	30/06/2020	30/09/2020	1612	1704	92
	20	chuvoso	30/09/2020	31/12/2020	1704	1796	92
	21	chuvoso	31/12/2020	31/03/2021	1796	1886	90
	22	seco	31/03/2021	30/06/2021	1886	1977	91
	23	seco	30/06/2021	30/09/2021	1977	2069	92
	24	chuvoso	30/09/2021	31/12/2021	2069	2161	92
	25	chuvoso	31/12/2021	31/03/2022	2161	2251	90
	26	seco	31/03/2022	30/06/2022	2251	2342	91
	27	seco	30/06/2022	30/09/2022	2342	2434	92
	28	chuvoso	30/09/2022	31/12/2022	2434	2526	92
	29	chuvoso	31/12/2022	31/03/2023	2526	2616	90
	30	seco	31/03/2023	30/06/2023	2616	2707	91
	31	seco	30/06/2023	30/09/2023	2707	2799	92
	32	chuvoso	30/09/2023	31/12/2023	2799	2891	92
	33	chuvoso	31/12/2023	31/03/2024	2891	2982	91
	34	seco	31/03/2024	30/06/2024	2982	3073	91
	35	seco	30/06/2024	30/09/2024	3073	3165	92
	36	chuvoso	30/09/2024	31/12/2024	3165	3257	92
	37	chuvoso	31/12/2024	31/03/2025	3257	3347	90
	38	seco	31/03/2025	30/06/2025	3347	3438	91
39	seco	30/06/2025	30/09/2025	3438	3530	92	
40	chuvoso	30/09/2025	31/12/2025	3530	3622	92	
<b>LONGO PRAZO COM CAVAS DE 5 EM 5 ANOS + CAVA DE 2048</b>	41	chuvoso	31/12/2025	31/03/2026	3622	3712	90
	42	seco	31/03/2026	30/09/2026	3712	3895	183
	43	chuvoso	30/09/2026	31/03/2027	3895	4077	182
	44	seco	31/03/2027	30/09/2027	4077	4260	183
	45	chuvoso	30/09/2027	31/03/2028	4260	4443	183
	46	seco	31/03/2028	30/09/2028	4443	4626	183
	47	chuvoso	30/09/2028	31/03/2029	4626	4808	182
	48	seco	31/03/2029	30/09/2029	4808	4991	183
	49	chuvoso	30/09/2029	31/03/2030	4991	5173	182
	50	seco	31/03/2030	30/09/2030	5173	5356	183
	51	chuvoso	30/09/2030	31/12/2030	5356	5448	92
	52	chuvoso	31/12/2030	31/03/2031	5448	5538	90
	53	seco	31/03/2031	30/09/2031	5538	5721	183
	54	chuvoso	30/09/2031	31/03/2032	5721	5904	183
	55	seco	31/03/2032	30/09/2032	5904	6087	183
	56	chuvoso	30/09/2032	31/03/2033	6087	6269	182
	57	seco	31/03/2033	30/09/2033	6269	6452	183
	58	chuvoso	30/09/2033	31/03/2034	6452	6634	182
	59	seco	31/03/2034	30/09/2034	6634	6817	183
	60	chuvoso	30/09/2034	31/03/2035	6817	6999	182
	61	seco	31/03/2035	30/09/2035	6999	7182	183
	62	chuvoso	30/09/2035	31/12/2035	7182	7274	92
	63	chuvoso	31/12/2035	31/03/2036	7274	7365	91
	64	seco	31/03/2036	30/09/2036	7365	7548	183
	65	chuvoso	30/09/2036	31/03/2037	7548	7730	182
	66	seco	31/03/2037	30/09/2037	7730	7913	183
	67	chuvoso	30/09/2037	31/03/2038	7913	8095	182
	68	seco	31/03/2038	30/09/2038	8095	8278	183
	69	chuvoso	30/09/2038	31/03/2039	8278	8460	182
	70	seco	31/03/2039	30/09/2039	8460	8643	183
	71	chuvoso	30/09/2039	31/03/2040	8643	8826	183
	72	seco	31/03/2040	30/09/2040	8826	9009	183
	73	chuvoso	30/09/2040	31/12/2040	9009	9101	92
	74	chuvoso	31/12/2040	31/03/2041	9101	9191	90
	75	seco	31/03/2041	30/09/2041	9191	9374	183
	76	chuvoso	30/09/2041	31/03/2042	9374	9556	182
	77	seco	31/03/2042	30/09/2042	9556	9739	183
	78	chuvoso	30/09/2042	31/03/2043	9739	9921	182
	79	seco	31/03/2043	30/09/2043	9921	10104	183
	80	chuvoso	30/09/2043	31/03/2044	10104	10287	183
	81	seco	31/03/2044	30/09/2044	10287	10470	183
	82	chuvoso	30/09/2044	31/03/2045	10470	10652	182
	83	seco	31/03/2045	30/09/2045	10652	10835	183

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

PERÍODO DE STRESS	Período	DATA		DIA MODELO		TOTAL
		INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	
84	chuvoso	30/09/2045	31/12/2045	10835	10927	92
85	chuvoso	31/12/2045	31/03/2046	10927	11017	90
86	seco	31/03/2046	30/09/2046	11017	11200	183
87	chuvoso	30/09/2046	31/03/2047	11200	11382	182
88	seco	31/03/2047	30/09/2047	11382	11565	183
89	chuvoso	30/09/2047	31/03/2048	11565	11748	183
90	seco	31/03/2048	30/09/2048	11748	11931	183
91	chuvoso	30/09/2048	31/12/2048	11931	12023	92

### 8.1.3 Condições de Contorno e Parâmetros Hidrodinâmicos

No processo de simulação do rebaixamento, as taxas de recargas, demais condições de contorno, e parâmetros hidrodinâmicos definidos nas etapas de calibração (regimes de escoamento transiente e permanente) foram mantidos.

Foram realizados pequenos ajustes apenas na distribuição das áreas de recarga, devido a aberturas de novas frentes de lavra (8, 9 e 9½) que não haviam sido consideradas na calibração, e sobre as quais foram aplicadas taxas de recarga de 64%, de forma a representar o aumento da infiltração efetiva nessas áreas provocado pela nova configuração da topográfica (cava fechada).

Além disso, como se trata de uma simulação de eventos futuros, em que os valores de precipitação do período simulado não são conhecidos, foram utilizadas as porcentagens calibradas sobre os valores médios de precipitação correspondentes a cada período simulado.

Outro ajuste realizado foi a interrupção do funcionamento dos GHBs que representam os lagos das cavas preenchidas com rejeito (9 e 10), a partir do ano em que se observa lavra nas adjacências ou em parte das mesmas.

### 8.1.4 Estruturas de Rebaixamento Utilizadas

No início do período simulado estavam em operação 22 poços na área da mina de Fábrica (1 - Área 9; 5 - Área 9 ½; 2 - Área 10; 8 - Segredo/Ponto 3; e 5 - Ponto 2). Além destes, um poço (PTP-38 – Área 9 ½) já estava construído com previsão de início de bombeamento para janeiro de 2019, e a construção de um segundo poço (PTP-39 – Área 9 ½) estava programada, sendo o início da operação prevista para março de 2019, segundo a contratante.

A Tabela 8.3 lista estes poços e seus respectivos valores de vazão adotados no início da simulação, definidas com base na vazão média bombeada em 2018 na Mina de Fábrica.

Foi admitido que estes poços continuariam a operar nos anos seguintes. As vazões iniciais foram equivalentes às descritas acima, adotando-se uma redução de 5% por ano simulado. Não foram inseridos novos poços em 2018, uma vez que o cliente não teria condições de implementá-los. Dessa forma, o plano de lavra previsto para o referido ano não foi atendido pela simulação de rebaixamento.

**Tabela 8.3: Poços existentes e mantidos na simulação do rebaixamento do nível d'água**

Poços	Local	Início da Operação	Vazão média inicial (m <sup>3</sup> /h)	Capacidade máxima em 2018 (m <sup>3</sup> /h)	Vazão média 2018 (m <sup>3</sup> /h)	
PTP-03	Área 9	nov-05	88	80	65	
PTP-29	Área 9 1/2	dez-14	18	16	14	
PTP-32		out-15	77	84	72	
PTP-34		out-16	38	38	30	
PTP-35		jan-18	10	10	10	
PTP-37		jan-18	170	170	170	
PTP-38		jan-19*	9	-	-	
PTP-39		mar-19*	50	-	-	
PTP-20		Área 10	mar-11	80	75	73
PTP-15	jun-08		26	16	16	
PTP-06	Segredo e Ponto 3	nov-05	100	200	148	
PTP-08		nov-05	60	46	43	
PTP-09		nov-05	90	35	33	
PTP-18		set-09	105	116	102	
PTP-21		jul-15	58	71	72	
PTP-30		jun-15	23	20	17	
PTP-33		dez-17	16	16	15	
PTP-36		jan-18	5	5	3	
PTP-19		Ponto 2	jun-10	40	24	22
PTP-22			mar-12	4	2	2
PTP-23	jun-12		20	20	16	
PTP-26	ago-14		8	15	14	
PTP-27	ago-14		14	15	14	

\*Previsão de início de operação segundo a contratante

Como a vazão inicial para os novos poços adotou-se o valor de 50 m<sup>3</sup>/h, baseando em média das vazões iniciais dos poços instalados na mina entre 2005 e 2016. Por vezes foram consideradas vazões menores, da ordem de 25 m<sup>3</sup>/h, em função da produtividade observada durante as simulações. Para os poços inseridos no contexto das Áreas 8 e 9, adotaram-se vazões iniciais entre 50 e 100 m<sup>3</sup>/h (Tabela 8.4).

**Tabela 8.4: Vazões médias iniciais por área da Mina de Fábrica**

Área	Poços considerados	Vazão média inicial (m³/h)
Área 9	PTP-02, 03 e 04	165
Área 9 1/2	PTP-28, 29, 32, 34, 35 e 37	47
Área 10	PTP-15 e 20	53
Segredo e Ponto 3	PTP-06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 18, 21, 30, 33 e 36	45
Ponto 2	PTP-16, 17, 19, 22, 26 e 27	40

Para atendimento do planejamento de lavra disponibilizado, em sua totalidade, foram inseridos 30 novos poços entre 2019 e 2024, e outros 14 poços entre 2025 e 2048, conforme mostra a Tabela 8.5 seguir.

**Tabela 8.5: Número de poços novos inseridos nas simulações por ano e por área**

Ano	Cavas					Total por Ano
	Área 8	Área 9	Área 9 1/2	Segredo e Ponto 3	Ponto 2	
2018	-	-	-	-	-	0
2019	2	-	2	1	4	9
2020	-	-	2	3	-	5
2021	-	-	2	2	1	5
2022	1	-	-	2	1	4
2023	1	-	-	3	1	5
2024	-	-	-	1	1	2
2025	3	-	-	-	-	3
2026	3	-	-	-	-	3
2027	2	-	-	-	-	2
2028	2	-	-	-	-	2
2036	-	1	-	-	-	1
2038	-	1	-	-	-	1
2034	-	1	-	-	-	1
2042	-	1	-	-	-	1

Salienta-se ainda, que na prática, o número de poços poderá variar, a depender da capacidade e eficiência dos poços instalados, do tempo de bombeamento efetivo dos mesmos, e do momento real em que esses poços iniciarão o bombeamento. Além disso, fatores relacionados à localização dos poços e à evolução das frentes de lavra deverão ser avaliados, no intuito de causar a mínima interferência possível nas operações da mina, o que pode aumentar o número de poços necessários.

Ressalta-se ainda que visando simplificar as simulações, foi considerado que todos os poços existentes e inseridos funcionarão continuamente até o final da simulação (2018). No entanto, é provável que a vida útil desses poços seja menor em função do rebaixamento do nível d'água, e conseqüente diminuição das vazões produzidas localmente, e das próprias condições de operação da lavra. Os poços

perdidos e/ou paralisados devido à baixa vazão deverão ser então substituídos, visando manter o volume global simulado para cada área.

Nas regiões em que as cavas avançam sobre as encaixantes, ou se aprofundam em litotipos de baixa permeabilidade, devido a inviabilidade de realizar o rebaixamento por meio de poços de bombeamento, foram inseridos drenos. Na prática, esses drenos representam a drenagem realizada pela própria topografia da cava e/ou DHPs. Drenos foram utilizados também na representação de *sumps* instalados nos *bottons* das cavas. Os itens seguintes apresentam os resultados de níveis d'água e vazões obtidas nos três cenários simulados.

## 8.2 RESULTADOS OBTIDOS

### 8.2.1 Níveis D'água

A análise do rebaixamento do nível d'água resultante das simulações foi realizada, ano a ano, entre 2019 e 2025, e de 5 em 5 anos, entre 2025 e 2045, de acordo com as cavas planejadas e avaliando-se as superfícies equipotenciais geradas em cada cenário.

Para demonstração dos resultados, foram elaboradas figuras com vistas em plantas e em seções verticais das áreas das cavas comparando-se a topografia das mesmas, segundo planejamento de lavra disponibilizado, e o nível d'água subterrâneo obtido nas simulações de rebaixamento, para todos os anos e cenários simulados.

Visando otimizar a avaliação dessas imagens, optou-se por apresentar no corpo do relatório, plantas e seções verticais (Figura 8.3 a 9.17) que mostrem os resultados da posição do nível d'água subterrâneo correspondentes aos anos que marcam o início da lavra simulada (2018), o final do médio prazo para as áreas em que há lavra (2020), e ano final de lavra em cada área, conforme apresentado na Tabela 8.6 a seguir.

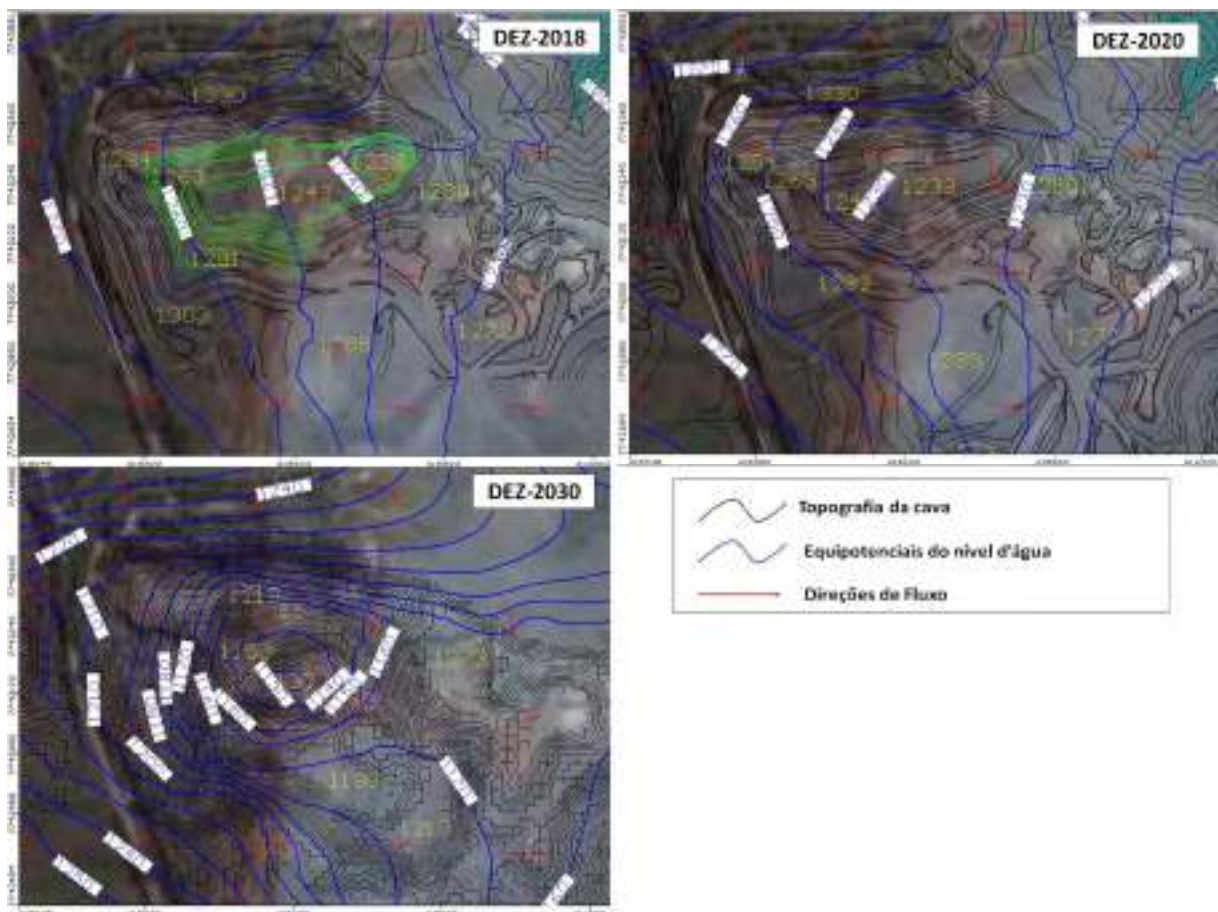
Lembrando que foram mantidos em operação até dezembro de 2018 apenas os poços existentes e ativos atualmente, devido a inviabilidade de inserir novos poços antes do referido mês. Como resultado, o nível d'água simulado permaneceu acima da topografia planejada para o ano de 2018 para as áreas 8, 9 ½, Segredo, e Ponto 3 e Ponto 2.

**Tabela 8.6: Planos de lavra/ano simulado cujos resultados de rebaixamento correspondentes serão apresentados nas imagens a seguir**

Área 8	Área 9	Área 9 1/2	Segredo e Ponto 3	Ponto 2
2018	2018	2018	2018	2018
2020	2040	2020	2020	2020
2030	2045	2021	2025	2025

Além das plantas e seções com a posição do nível d'água subterrâneo, são apresentados também plantas com o rebaixamento do nível d'água resultante da operação dos poços para o ano final da lavra em cada área e para o último ano da simulação global (2048). O rebaixamento é calculado pelo próprio modelo, sendo a diferença entre a superfície do nível d'água no início (fevereiro-2016) e no ano considerado (final da lavra que varia para cada área e ao no de 2048) da simulação.

### 8.2.1.1 ÁREA 8



**Figura 8.3: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a área da cava 8 (2018, 2020, e 2030).**



**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

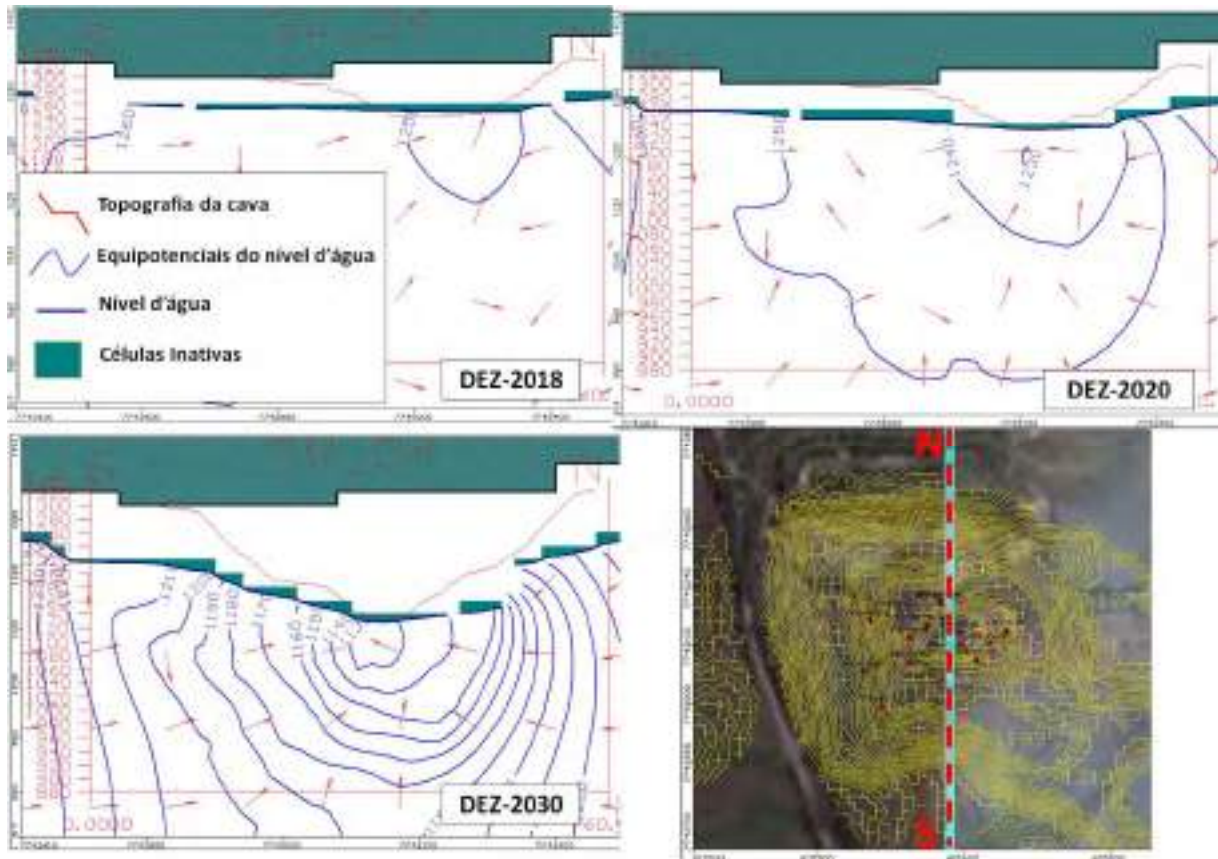


Figura 8.4: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava da área 8 (2018, 2020, e 2030).

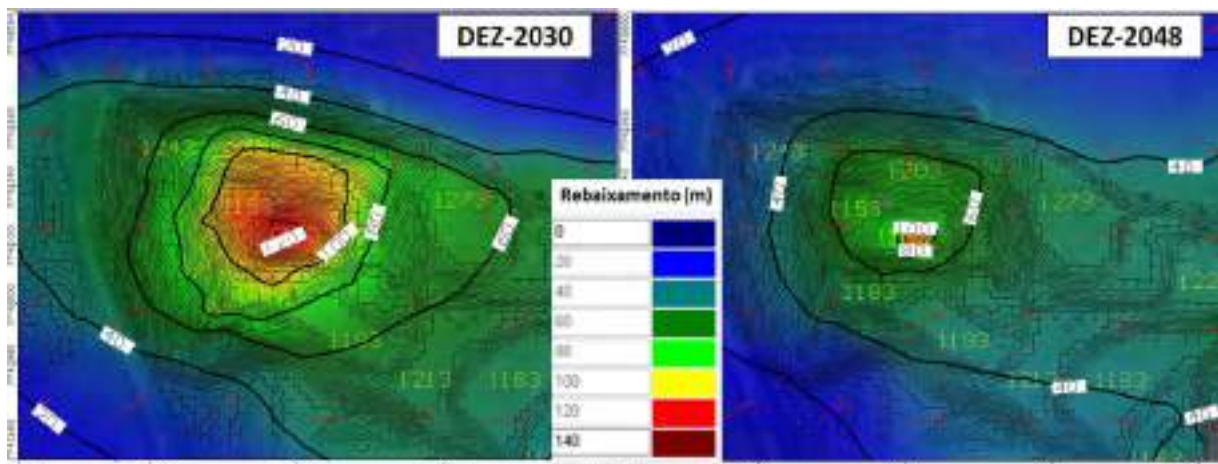
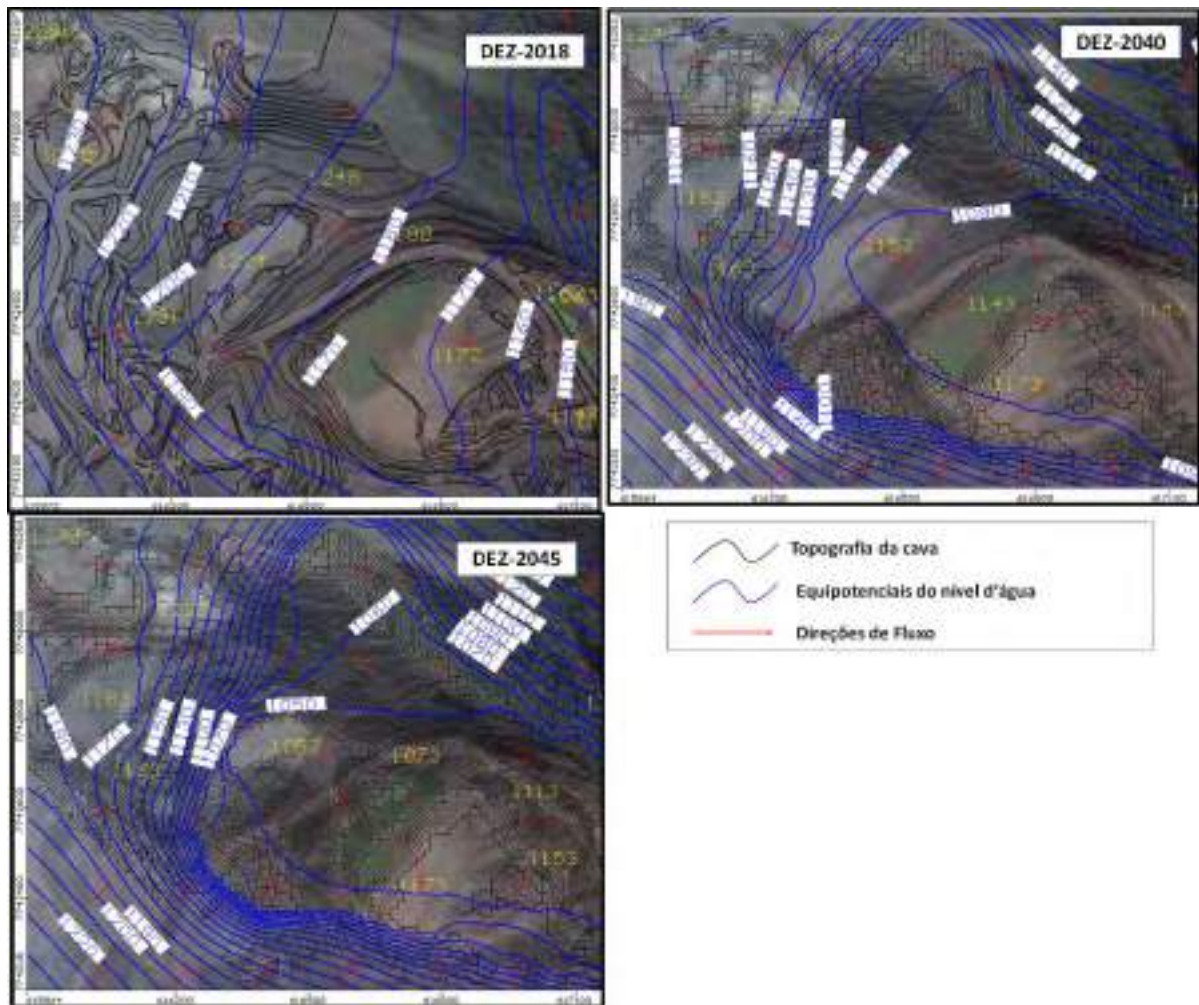
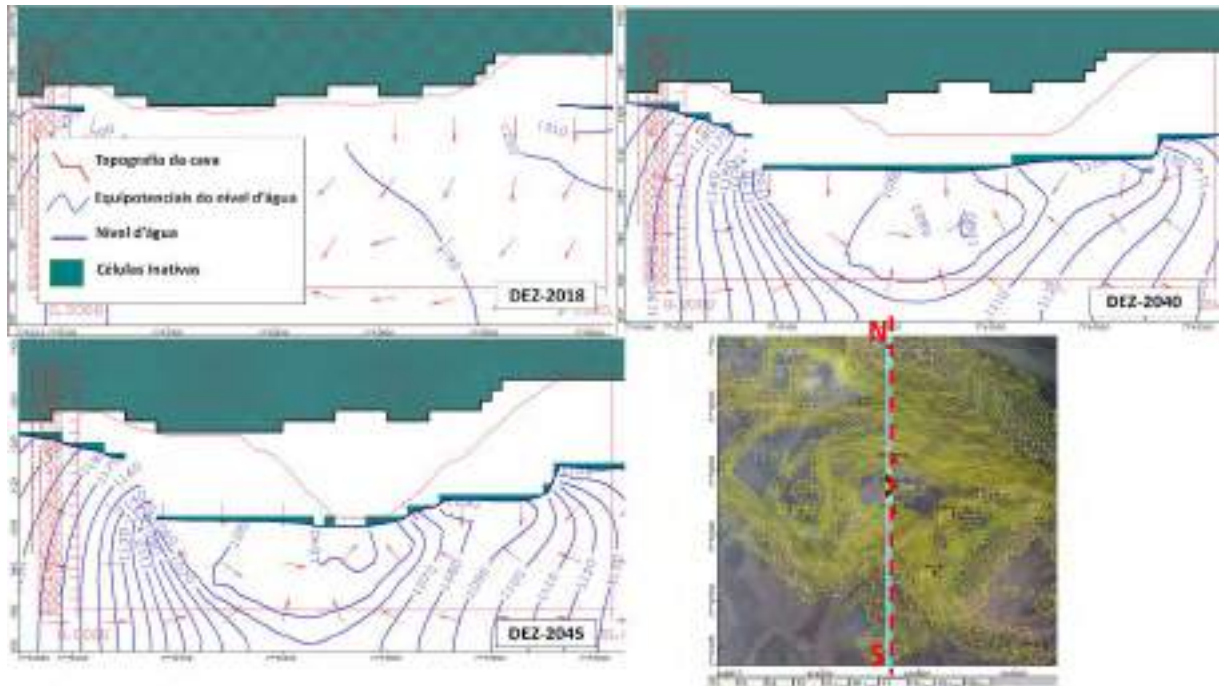


Figura 8.5: Vistas em planta (camada 14) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2030 (último ano de lavra na Área 8) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).

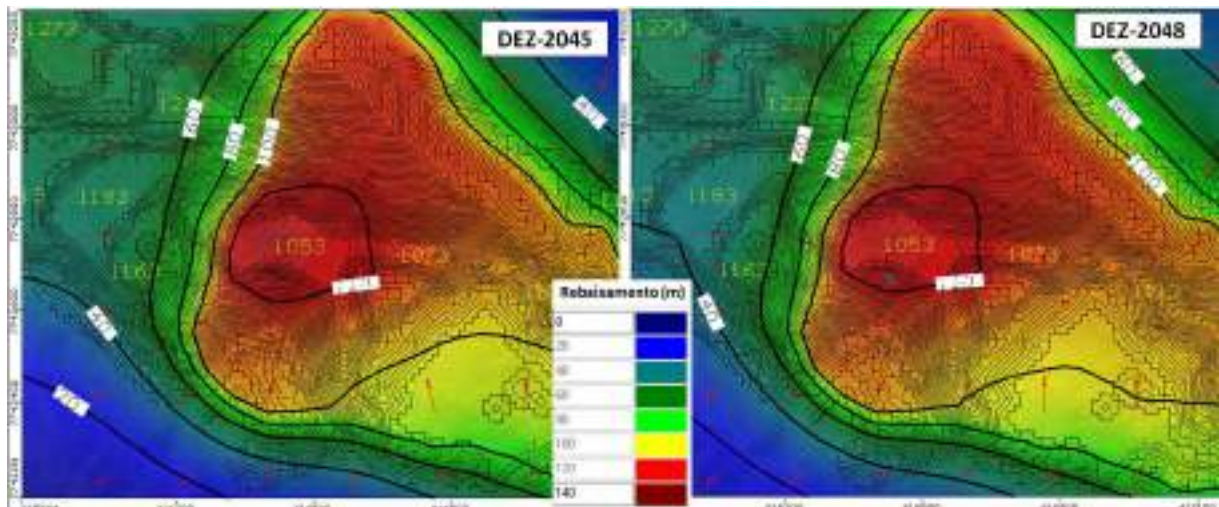
**8.2.1.2 ÁREA 9**



**Figura 8.6: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 (2018, 2040, 2045).**

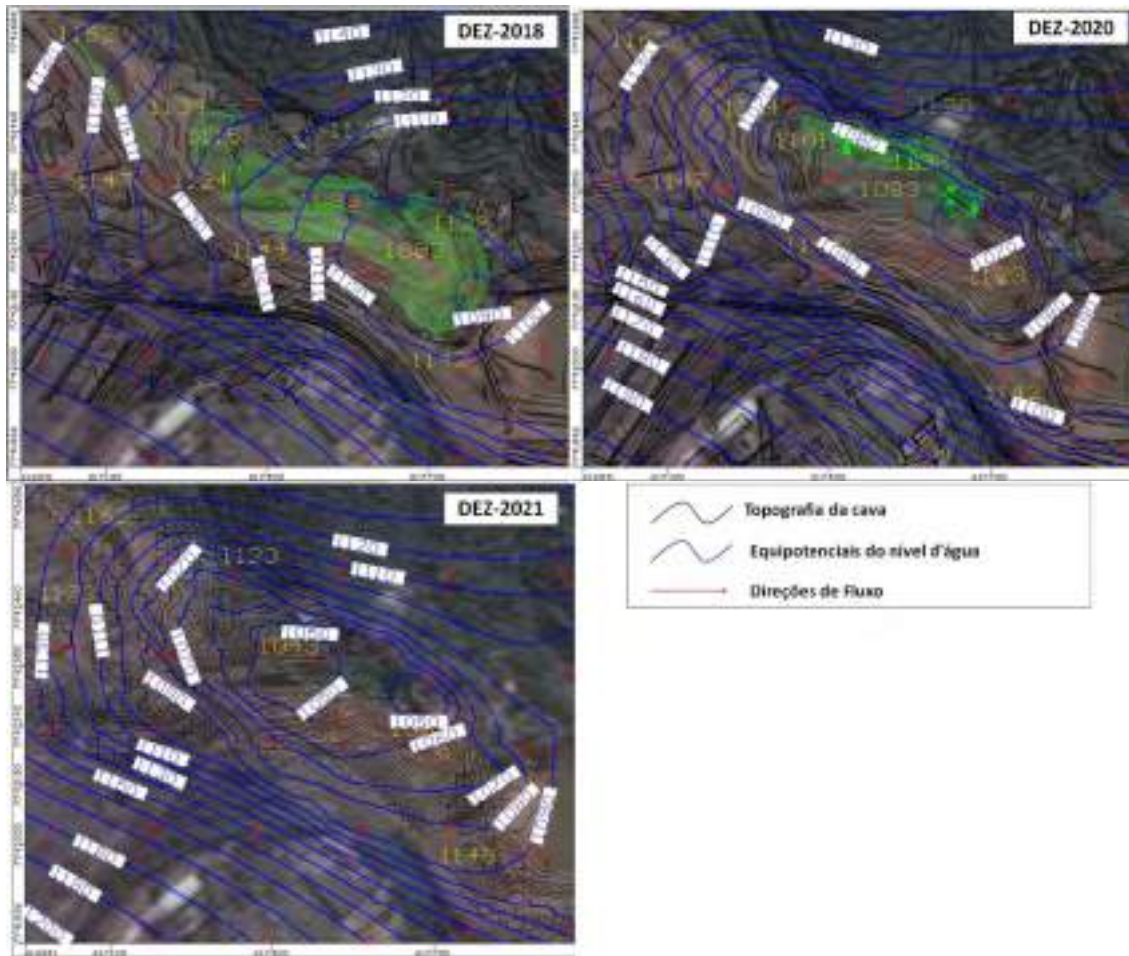


**Figura 8.7: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 (2018, 2040, 2025 e 2045).**

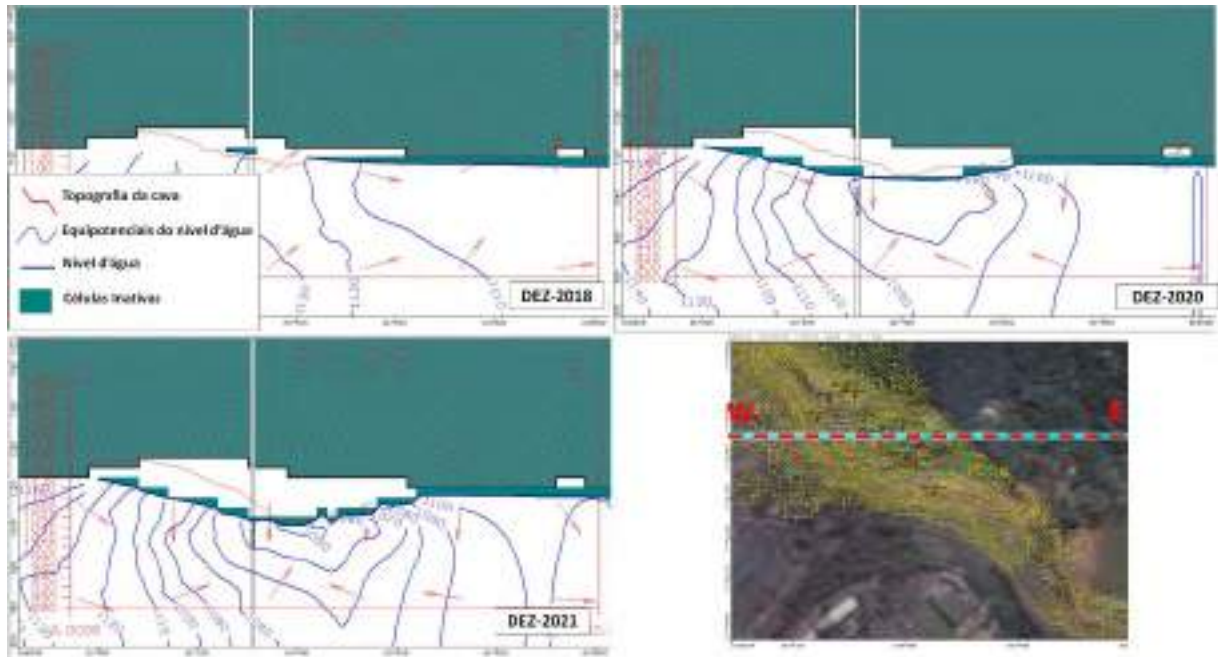


**Figura 8.8: Vistas em planta (camada 19) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2045 (último ano de lavra na Área 9) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).**

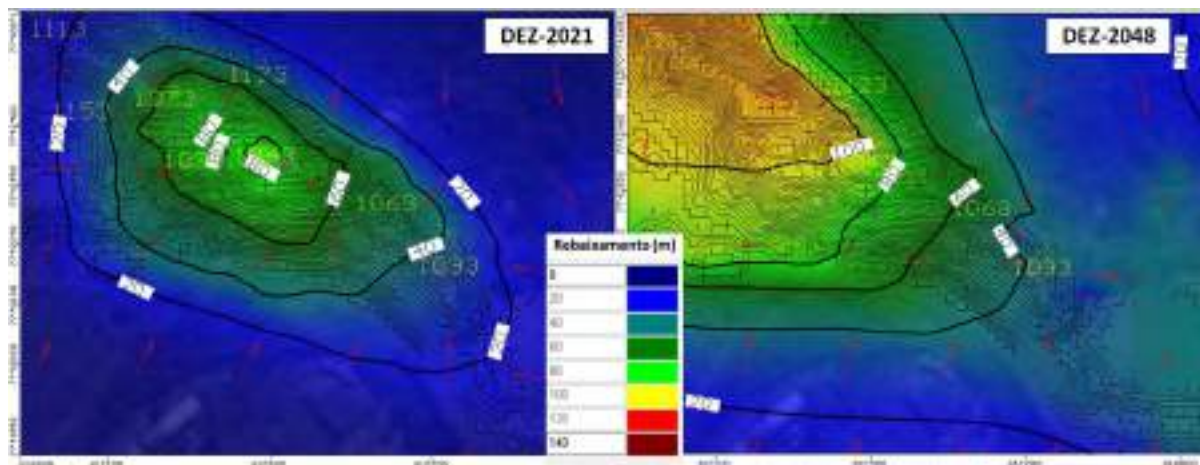
**8.2.1.3 ÁREA 9 ½**



**Figura 8.9: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 ½ (2018, 2020, 2021).**

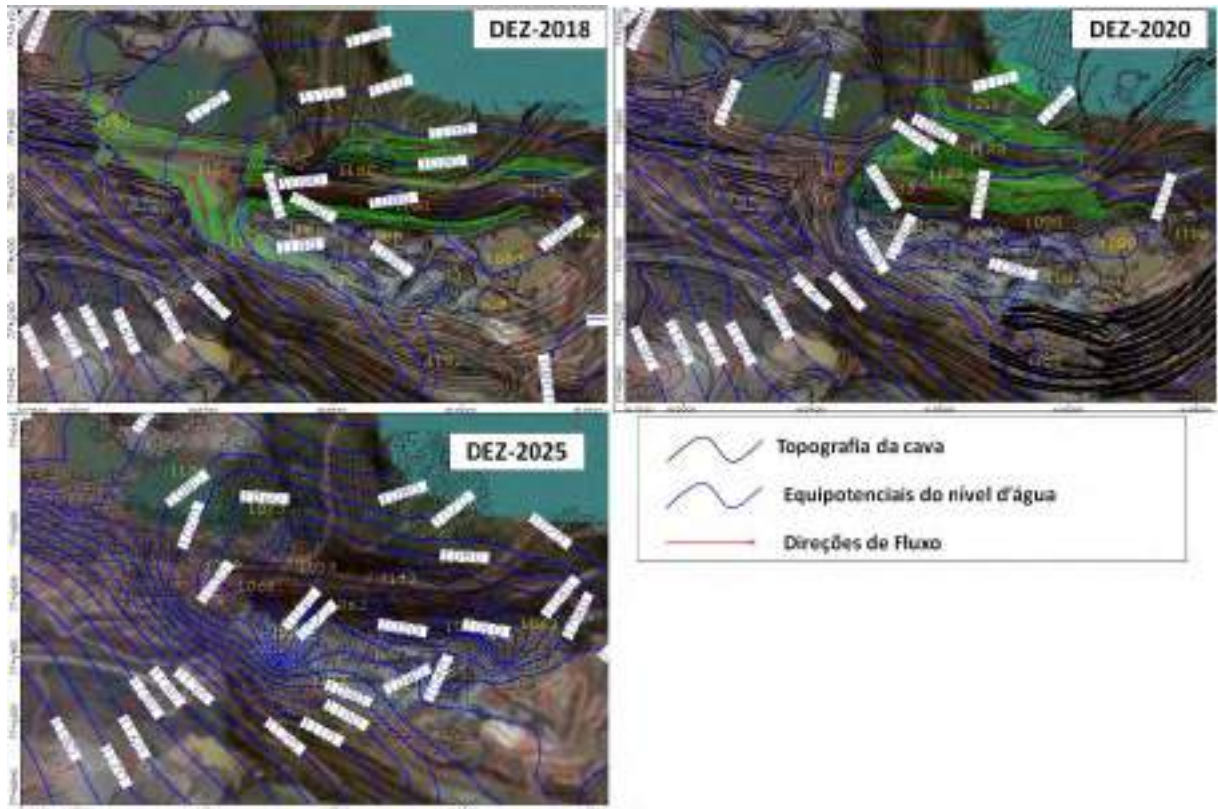


**Figura 8.10: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava da área 9 ½ (2018, 2020, e 2021).**



**Figura 8.11: Vistas em planta (camada 19) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2021 (último ano de lavra na Área 9 ½) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).**

**8.2.1.4 SEGREDO E PONTO 3**



**Figura 8.12: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a área da cava de Segredo e Ponto 3 (2018, 2020, 2025).**

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA



Figura 8.13: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava de Segredo e Ponto 3 (2018, 2020, e 2025).

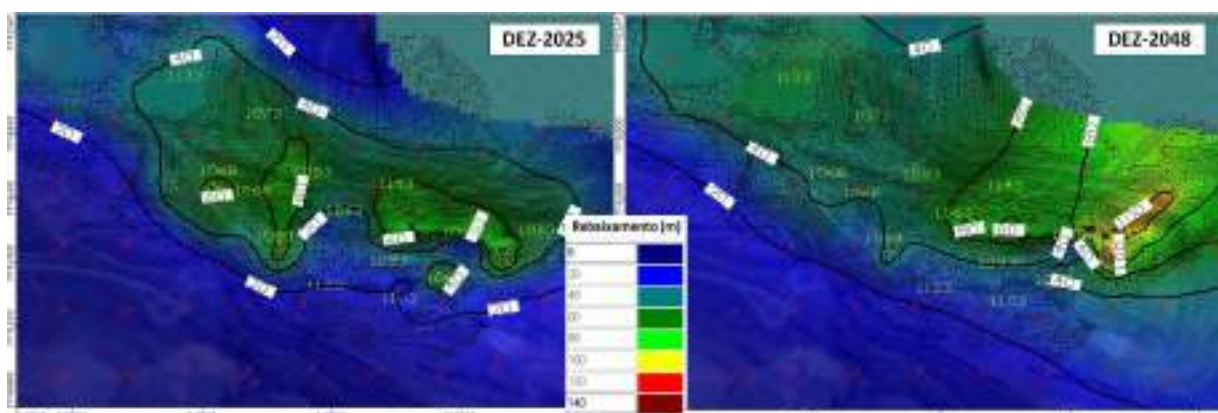


Figura 8.14: Vistas em planta (camada 20) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2025 (último ano de lavra Segredo e Ponto 3) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).

8.2.1.5 PONTO 2

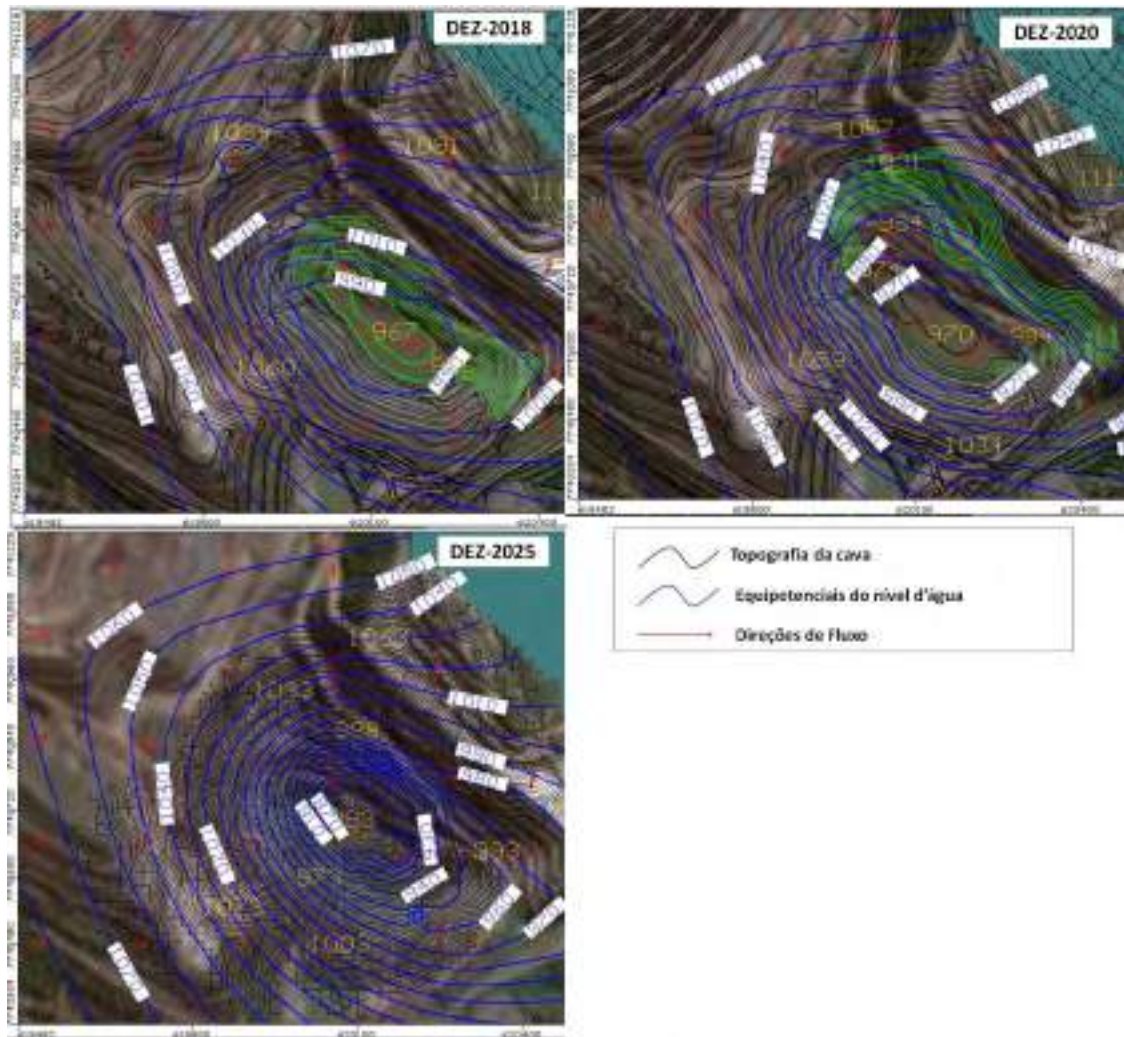


Figura 8.15: Vistas em planta dos resultados de nível d'água para a área do Ponto 2 (2018, 2020, 2025).



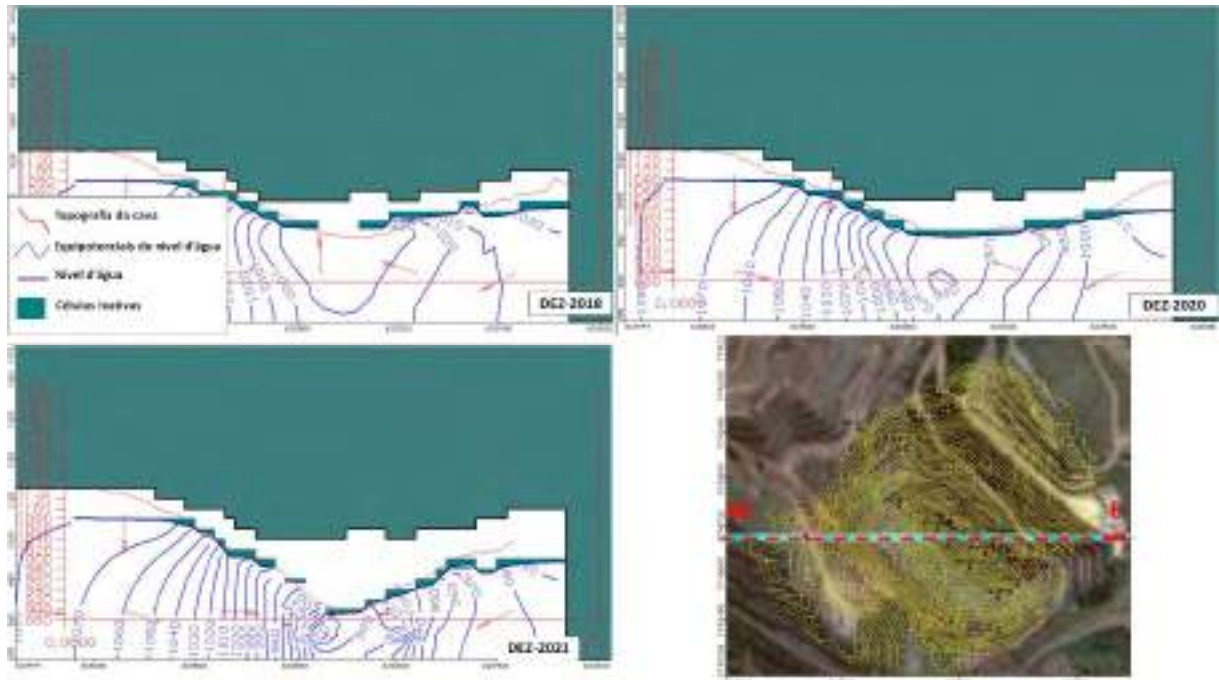


Figura 8.16: Vistas em perfil dos resultados de nível d'água para a cava do Ponto 2 (2018, 2020, e 2025).

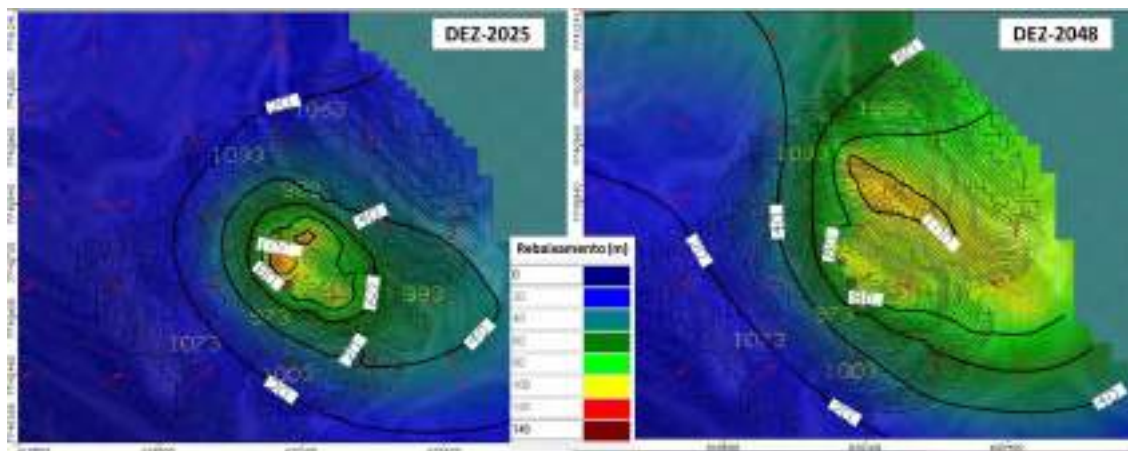


Figura 8.17: Vistas em planta (camada 27) do rebaixamento do nível d'água ao final dos anos de 2025 (último ano de lavra em Ponto 2) e 2048 (último ano de lavra simulado em toda Mina de Fábrica).

### 8.2.2 Vazões do sistema de rebaixamento

Por meio do cálculo da produção dos poços de bombeamento pelo modelo numérico, foi possível quantificar a vazão necessária para rebaixar o nível d'água das cavas da Mina de Fábrica, de forma a atender aos planos de lavra de 2018 até 2048.

A Figura 8.18 apresenta o gráfico evolutivos das vazões globais produzidas pelos poços de bombeamento inseridos no modelo numérico.

Com base nos resultados, para alcançar o rebaixamento necessário para atendimento da lavra prevista para o ano de 2019, seria necessário bombear uma vazão global máxima de 2153 m<sup>3</sup>/h, considerando todas as áreas em que há avanço na lavra, ou seja, aproximadamente três vezes o que é atualmente produzido pelo sistema de rebaixamento em operação (750 m<sup>3</sup>/h).

Já em 2020, a produção dos poços de bombeamento (sem considerar drenos e sump) deve superar o valor de 1750 m<sup>3</sup>/h, sendo o pico de vazão atingido em 2026 com valor de 2153 m<sup>3</sup>/h. Entre 2019 e 2026 entram em operação 36 poços devido aos maiores avanços da lavra. A partir do ano de 2026, como a intensidade das operações de lavra é reduzida, mantendo-se em curso apenas na porção noroeste da área (áreas 8, 9 e 9 ½) a vazão de bombeamento também diminui chegando a o valor de aproximadamente 1780 m<sup>3</sup>/h em 2030. Após 2030, com o cessar das atividades de lavra na área 8, a vazão reduz gradativamente chegando 875 m<sup>3</sup>/h em 2048.

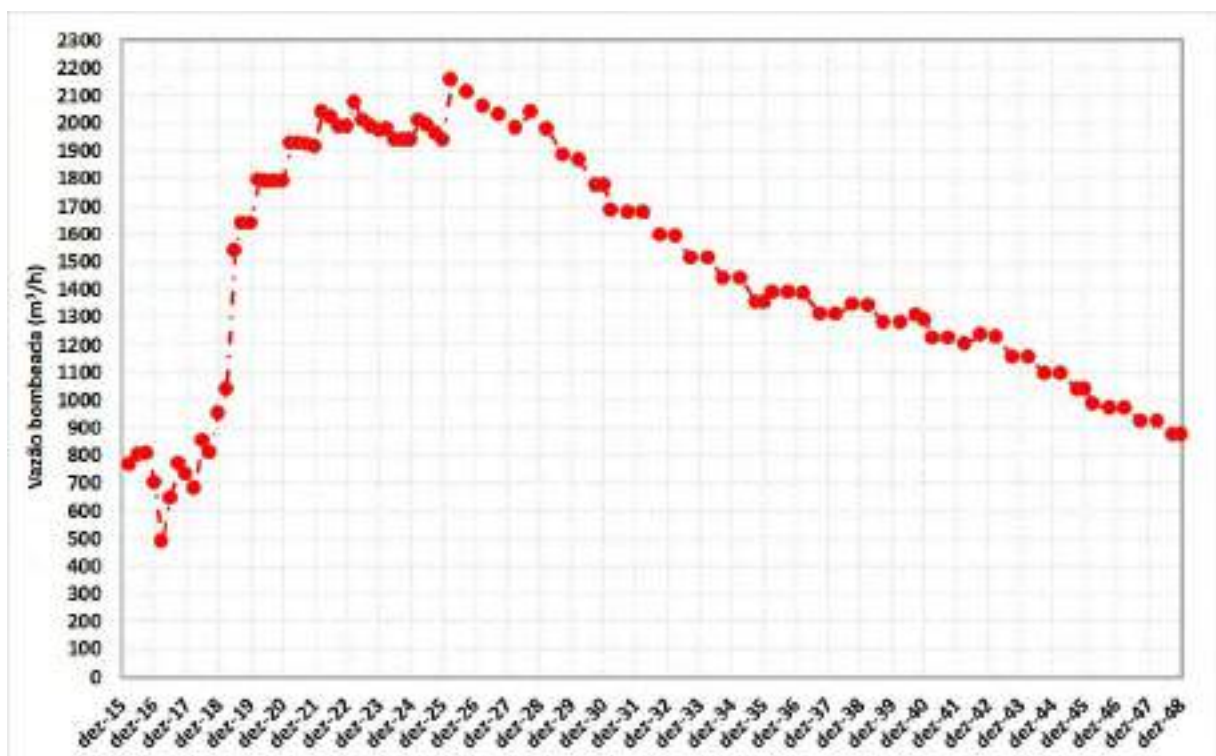


Figura 8.18: Vazões globais produzidas pelos poços de bombeamento inseridos no modelo numérico.

As Figuras 9.19 e 9.20 a seguir mostram as produções de água subterrânea por setores da mina. Inicialmente, a maior produção é observada na cava de Segredo/Ponto 3, seguida das cavas das áreas 9 ½, Ponto 2, 8 e 9. A partir de 2026 a vazão demandada na área 8 supera os valores bombeados em Segredo e Ponto 3. A cava que demanda maior incremento na vazão em menor tempo é a área 9 ½, com aumento superior a 400 m<sup>3</sup>/h, já em 2019.

As médias das vazões bombeadas para cada cava considerando o período entre os anos de 2019 e 2025 são de 288 (área 8), 56 (área 9), 608 (área 9 ½), 655 (Segredo e Ponto 3) e 268 m<sup>3</sup>/h (Ponto 2).

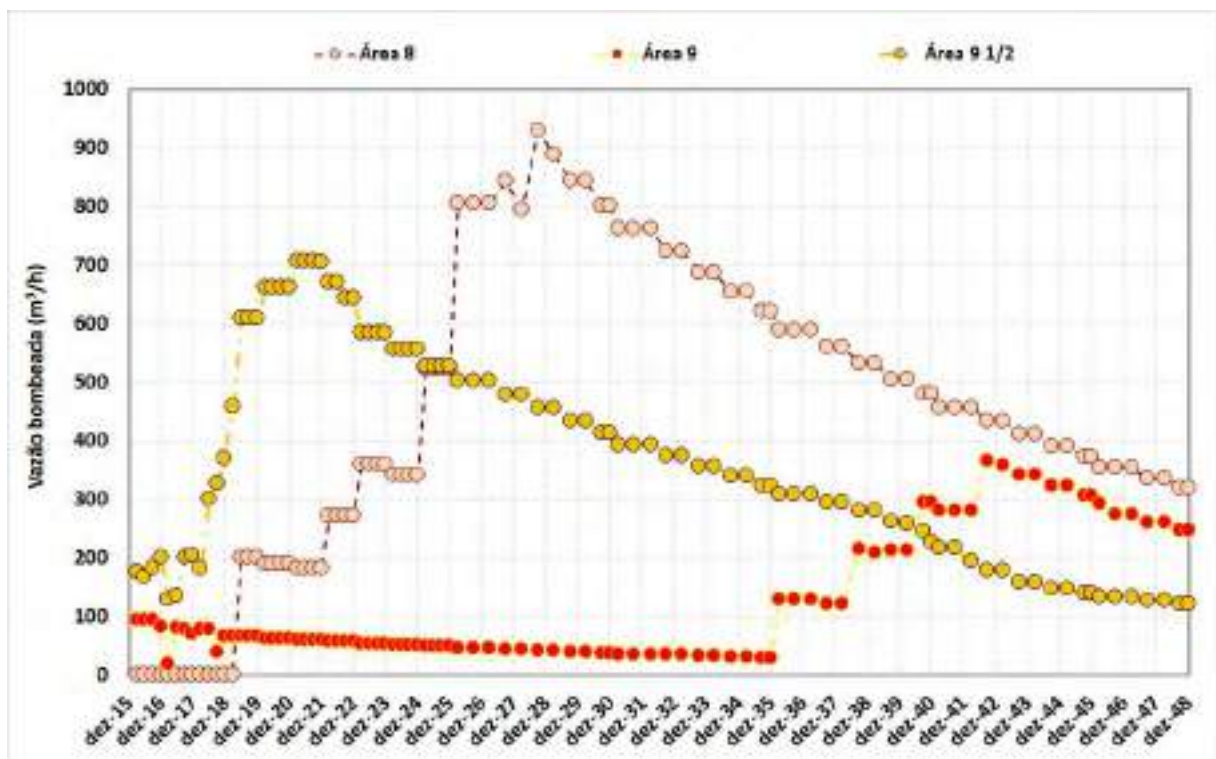


Figura 8.19: Vazões produzidas pelos poços de bombeamento - por áreas (8, 9 e 9 ½).

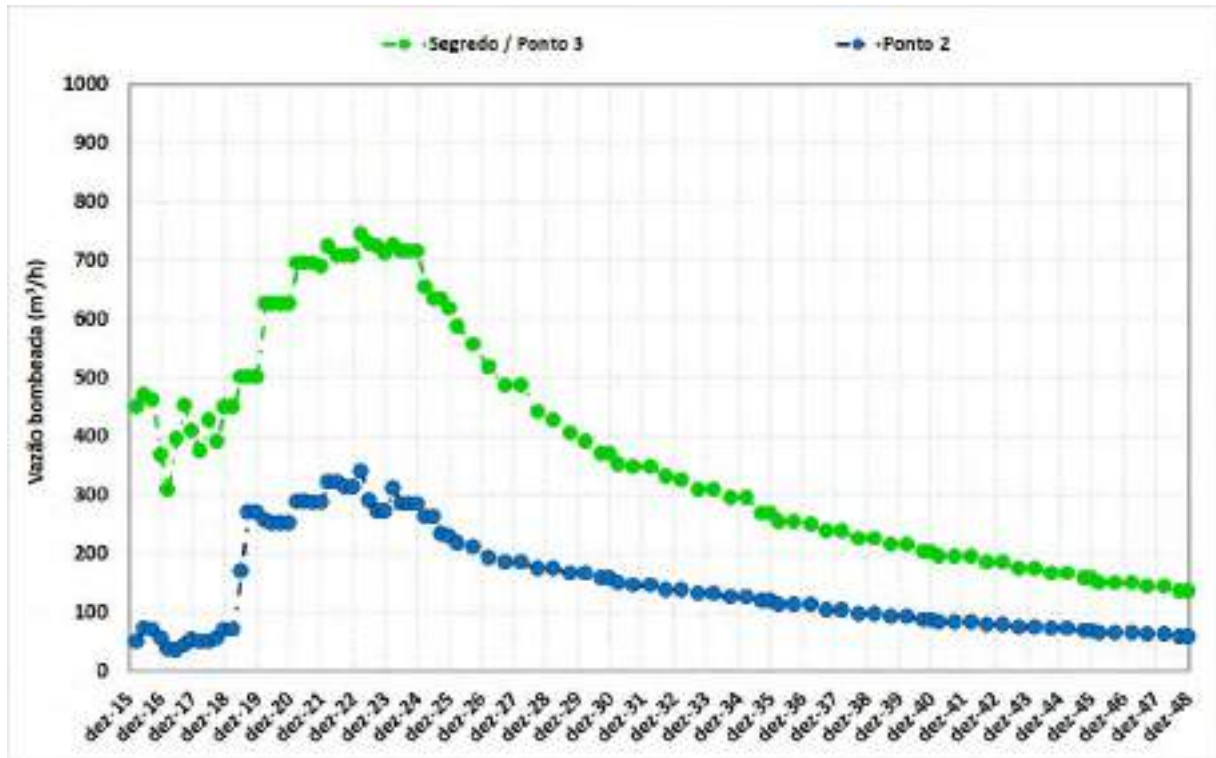


Figura 8.20: Vazões produzidas pelos poços de bombeamento - por áreas (Segredo / Ponto 3 e Ponto 2).

Entre 2025 e 2030 a cava foco da lavra é a área 8, sendo a vazão bombeada sobe de 340 m<sup>3</sup>/h (final de 2024) para 800 m<sup>3</sup>/h (2026). A partir de 2030 a área 9 passa a ser lavrada. Apesar de lavra atingir o nível d'água na área apenas em 2040 optou-se por iniciar o incremento do bombeamento já em 2036, visando diminuir a quantidade poços necessários para atendimento da lavra. Dessa forma, com a inserção de 4 poços na área 9 mais o poço PTP-03, e contando com o efeito da continuidade do bombeamento tanto na área 8 quanto na área 9 ½, a lavra prevista para os anos de 2040 e 2045 foi atendida. Entre 2036 e 2045, a vazão média bombeada na área 9 é da ordem de 250 m<sup>3</sup>/h,

Além dos poços de bombeamento, em diversas regiões das cavas foi necessário o uso de drenos, principalmente nas porções em que as cavas avançam sobre as encaixantes e/ou materiais mais argilosos.

Na prática, para a drenagem/alívio dos taludes das cavas, em situações onde o nível d'água comprometer a estabilidade dos mesmos, deverão ser construídos drenos horizontais profundos (*DHPs*), cuja locação deverá ser definida em função da demanda geotécnica.

Além dos drenos nos taludes, em todas as cavas foram adicionados drenos para representar também a operação dos *sumps* instalados nos *bottons* das cavas, os quais contribuirão para o rebaixamento do nível nas formações ferríferas e receberão todo volume drenado pelos *DHPs*.

A Figura 8.21 mostra a evolução das vazões dos drenos que representaram *sumps* e a Figura 8.22 as vazões do drenos que representaram *DHPs*.

As elevadas a vazões inicialmente observadas para a cava Ponto 2, correspondem principalmente à vazão retirada pelos drenos que representam o *sump*, e são coerentes se comparada aos valores atualmente bombeados, os quais não são suficientes para drenar o *sump*. Com entrada de novos poços, as vazões explotadas no *sump* diminuem bruscamente. Na área 8, observa-se um aumento progressivo da vazão dos drenos a partir de 2031, que está associado a diminuição das vazões explotadas pelos poços.

Ressalta-se que as vazões resultantes da representação do *sumps* correspondem apenas à parcela de água subterrânea produzida no fundo das cavas, não englobando a parcela do escoamento superficial decorrentes diretamente de precipitações na cava.

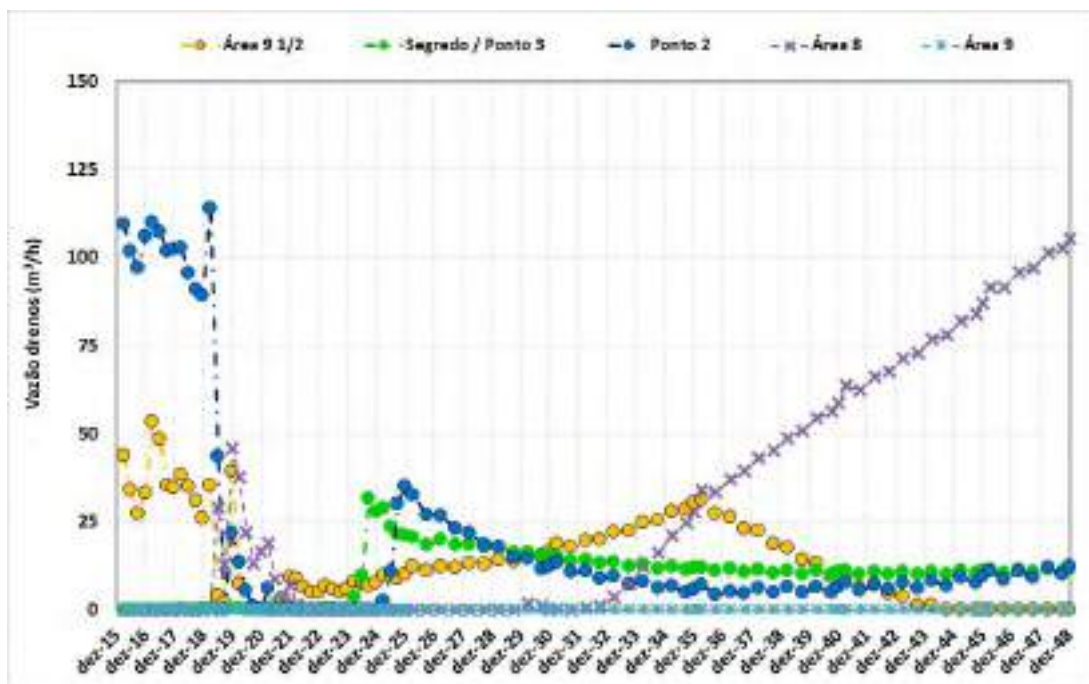


Figura 8.21: Vazões dos drenos que representam o *sump* por áreas.

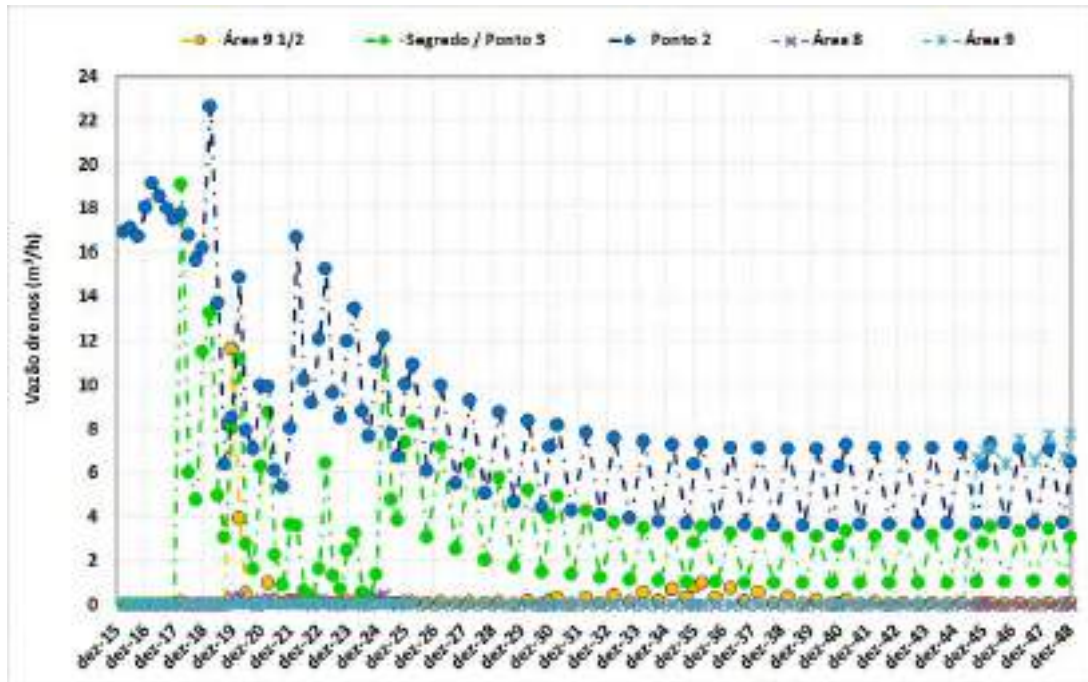


Figura 8.22: Vazões dos drenos que representam os *DHPs* por áreas.

Com base nos resultados apresentados, a vazão máxima de água subterrânea a ser produzida pelo sistema de rebaixamento (poços + drenos + *sumps*) será da ordem de 2240 m<sup>3</sup>/h, conforme mostra o gráfico da Figura 8.23.

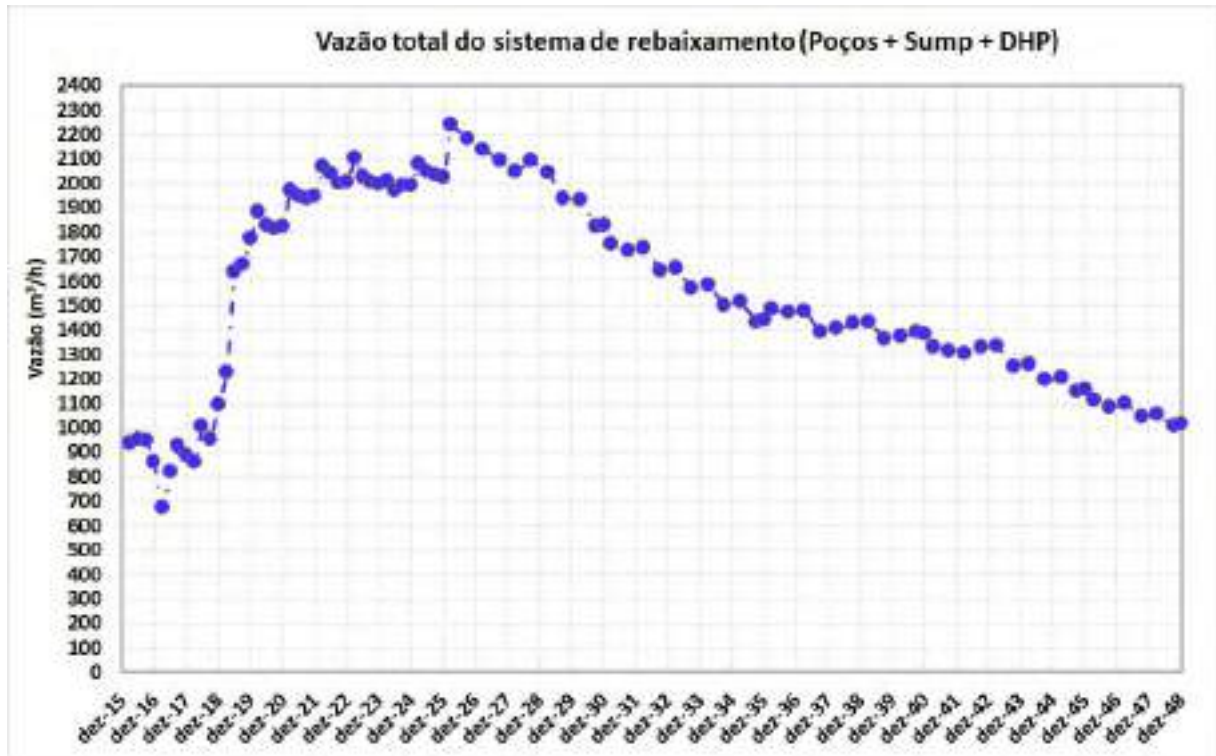


Figura 8.23: Vazões globais produzidas por todo o sistema de rebaixamento (poços + DHPs + sumps).

Sendo assim, para atender ao novo planejamento de lavra em seus horizontes de curto, médio e longo prazo (2018 a 2048) recomenda-se que o pedido de outorga do sistema de rebaixamento do nível d'água da Mina do Fábrica (área, 8, 9 e 9 ½, Segredo e Ponto 3 e Ponto 2) seja então baseado em uma produção máxima de água subterrânea igual 2240 m<sup>3</sup>/h.

Com base nas simulações numéricas realizadas em 2016 pela MDGEO, seria necessário explorar uma vazão máxima de água subterrânea da ordem de 1670 m<sup>3</sup>/h para atender ao planejamento de lavra, vigente na ocasião, para os 5 anos seguintes (2016 a 2020).

Porém, o plano de lavra simulado no presente estudo, além contemplar um maior período de operação da lavra (2018 a 2048), apresenta maiores avanços em profundidade, principalmente, para as áreas 8 e 9, se comparado com o plano de lavra utilizado em 2016 (2016 a 2020); o que justifica a vazão máxima obtida no estudo atual (2240 m<sup>3</sup>/h) ser superior ao valor máximo obtido nas simulações realizadas em 2016 (1670 m<sup>3</sup>/h).

Comparando especificamente as vazões máximas obtidas até o ano de 2020, a simulação realizada em 2016 estimou uma vazão de pico de bombeamento da ordem 1670 m<sup>3</sup>/h, que ocorreria no início de 2018. Já na presente simulação o pico ocorre em 2020, e é da ordem de 1810 m<sup>3</sup>/h. Essa diferença ocorre principalmente devido ao aprofundamento da área 8, que no plano de lavra utilizado em 2016 não atingiria o nível d'água subterrâneo, não sendo necessária a inserção de poços, e na presente simulação foi necessária a inserção de 2 poços já em 2019.

Já no trabalho conduzido pela Água Consultores em 2004 (documento “*Relsimfinal.doc*”), a vazão de outorga requerida para o sistema de rebaixamento foi de 500 m<sup>3</sup>/h. A principal diferença entre os trabalhos está no fato de o estudo elaborado em 2004 ter considerado na ocasião o rebaixamento do nível d'água subterrâneo apenas para as a cavas de Segredo, Ponto 3 e Ponto 2.

Em contrapartida, o planejamento de lavra vigente atualmente incorpora outras 3 áreas de lavra (8, 9, e 9 ½), nas quais será também necessário o rebaixamento, o que já justificaria o fato de os volumes de exploração previstos para operacionalização da lavra da Mina de Fábrica em sua totalidade, serem superiores aos estimados por Água e Consultores (2004).

Com relação ao plano de lavra vigente em 2004, o relatório produzido pela referida empresa não o apresenta com detalhe, mas, na descrição das simulações numéricas de rebaixamento do nível d'água, o texto aponta que o nível d'água deveria ser rebaixado até a cota de 960 m, aparentemente para as três cavas (Segredo, Ponto 3 e Ponto 2), em um período de 10 anos.

No plano de lavra vigente atualmente, a cava do Ponto 2, que está na cota 976 m (mar-2018), chegará na cota de 893 m em 7 anos (2025); já Segredo e Ponto 3, que se encontram na cota de 1088 m desde 2010, chegará na cota de 1018 m também em 7 anos. Ou seja, o avanço atualmente previsto para o Ponto 2 supera em 67 metros o avanço da cava utilizada em 2004, e avanço o previsto para Segredo e Ponto 3 é 58 m menor se comparada ao atual.

De qualquer forma, se observa que mesmo que as vazões bombeadas atualmente, somando-se a produção dos poços das 3 cavas (434 m<sup>3</sup>/h), sejam 3 vezes superior ao valor estimado no estudo da Água (145 m<sup>3</sup>/h), a taxa de rebaixamento resultante não é suficiente para atendimento do planejamento de lavra atualmente



vigente (2018 a 2048), o que é evidenciado pelo constante afloramento do nível d'água no *bottom* das três cavas supracitadas.

Além incorporar outras três áreas de cava 8, 9 e 9 ½, e um cenário de avanços em profundidade muito distinto, se comparado com o estudo de 2004, as simulações atuais contemplam um período superior de operação da lavra (2018 a 2048) considerando as cavas planejadas para os próximos 30 anos.

Outra questão que deve ser considerada, é que no modelo numérico elaborado em 2016 e utilizado para a realização das novas simulações de rebaixamento, foi utilizada uma série de dados de monitoramento de níveis e vazões maior para calibração dos parâmetros hidrodinâmicos (10 anos), e uma base de informação geológica mais atualizada e detalhada.

### 8.2.3 Balanço Hídrico

O balanço hídrico leva em conta todas as entradas e saídas de água do sistema de um determinado sistema hidrogeológico, além das variações no armazenamento de água nas rochas que compõem o mesmo.

Basicamente é descrito pela equação do balanço hídrico que obedece ao princípio da conservação da massa ou da continuidade, segundo o qual, em um sistema qualquer, a diferença entre as entradas e saídas é igual à variação do armazenamento dentro do sistema.

Entre as contribuições de entrada ao sistema modelado considera-se: a recarga do aquífero, os aportes laterais (continuidade de fluxo de João Pereira em direção a Segredo), e os aportes de aquíferos profundos (caso do PB-06 e das nascentes Água Santa). Entre as saídas considera-se: descarga em cursos d'água e o bombeamento e desaguamento por estruturas de drenagem subterrânea.

A Tabela 8.7 a seguir apresenta o balanço hídrico dos principais estágios representados e simulados para a Mina de Fábrica (áreas 8, 9, 9 ½, Segredo e Ponto 3, e Ponto 2) representados no modelo numérico.

**Tabela 8.7: Balanço hídrico – estimativas de recarga, vazões de bombeamento e descargas naturais com base no modelo numérico**

ESTÁGIOS REPRESENTADOS NO MODELO NUMÉRICO	PARÂMETROS	VOLUMES CUMULATIVOS (m³)		VAZÕES STEP (m³/dia)	
		ENTRADAS	SAÍDAS	ENTRADAS	SAÍDAS
<b>CALIBRAÇÃO EM PERMANENTE (ABR-2005)</b>	Armazenamento	-	-	-	-
	Sistema de Rebaixamento (Poços + Drenos)	-	3.278.795,00	-	8,983.00
	Cursos D'água	-	5.065.941,58	-	13,879.29
	Aporte Lateral (GHBs)	4.578.236,72	5.628,08	12,543.11	15.42
	Recarga	3.771.403,49	-	10,332.61	-
	Total	8.349.640,21	8.350.364,66	22,875.73	22,877.71
	Discrepância (%)	-0,01%		-0,01%	
<b>CALIBRAÇÃO EM TRANSIENTE (JAN-2016)</b>	Armazenamento	53.195.063,93	22.247.924,20	14,508.14	8,008.31
	Sistema de Rebaixamento (Poços + Drenos)	-	74.515.288,39	-	22,393.39
	Cursos D'água	-	44.874.734,53	-	11,479.89
	Aporte Lateral (GHBs)	59.623.301,61	17.509.442,80	15,815.10	9,196.11
	Recarga	46.313.957,53	-	20,781.77	-
	Total	159.132.323,07	159.147.389,92	51,105.01	51,077.70
	Discrepância (%)	-0,01%		0,05%	
<b>SIMULAÇÃO DE REBAIXAMENTO - 2019 (CURTO PRAZO)</b>	Armazenamento	23.380.207,61	10.975.563,58	20,986.42	5,926.41
	Sistema de Rebaixamento (Poços + Drenos)	-	37.017.830,21	-	42,593.18
	Cursos D'água	-	15.808.667,15	-	10,563.18
	Aporte ou Saída Lateral (GHBs)	25.661.327,37	1.140.469,64	17,269.16	34.98
	Recarga	15.894.960,79	-	20,861.96	-
	Total	64.936.495,77	64.942.530,58	59,117.54	59,117.76
	Discrepância (%)	-0,01%		0,00%	
<b>SIMULAÇÃO DE REBAIXAMENTO - 2020 (MÉDIO PRAZO)</b>	Armazenamento	33.014.251,26	12.041.331,24	20,029.58	5,658.63
	Sistema de Rebaixamento (Poços + Drenos)	-	53.133.068,21	-	43,706.80
	Cursos D'água	-	19.561.280,66	-	10,434.61
	Aporte Lateral (GHBs)	32.438.814,29	1.148.275,27	18,940.69	30.60
	Recarga	20.427.133,40	-	20,861.96	-
	Total	85.880.198,95	85.883.955,38	59,832.23	59,830.65
	Discrepância (%)	0,00%		0,00%	

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

ESTÁGIOS REPRESENTADOS NO MODELO NUMÉRICO	PARÂMETROS	VOLUMES CUMULATIVOS (m <sup>3</sup> )		VAZÕES STEP (m <sup>3</sup> /dia)	
		ENTRADAS	SAÍDAS	ENTRADAS	SAÍDAS
<b>SIMULAÇÃO DE REBAIXAMENTO - 2025 (LONGO PRAZO)</b>	Armazenamento	84.841.353,55	17.132.684,40	21,024.37	5,416.49
	Sistema de Rebaixamento (Poços + Drenos)	-	141.127.463,26	-	48,556.32
	Cursos D'água	-	36.922.940,27	-	9,260.60
	Aporte Lateral (GHBs)	68.446.283,39	1.180.069,72	21,355.50	19.25
	Recarga	43.074.056,54	-	20,861.96	-
	Total	196.361.693,47	196.363.157,66	63,241.83	63,252.66
	Discrepância (%)	0,00%		-0,02%	
<b>SIMULAÇÃO DE REBAIXAMENTO - 2030 (LONGO PRAZO)</b>	Armazenamento	124.457.288,88	21.791.217,93	9,446.69	6,231.61
	Sistema de Rebaixamento (Poços + Drenos)	-	230.117.746,92	-	43,901.73
	Cursos D'água	-	53.457.497,80	-	9,179.23
	Aporte Lateral (GHBs)	116.438.190,44	1.198.831,93	29,017.67	11.65
	Recarga	65.665.562,70	-	20,861.96	-
	Total	306.561.042,02	306.565.294,58	59,326.32	59,324.23
	Discrepância (%)	0,00%		0,00%	
<b>SIMULAÇÃO DE REBAIXAMENTO - 2048 (DESCOMISSONAMENTO)</b>	Armazenamento	180.934.369,58	50.037.805,33	955.08	10,483.42
	Sistema de Rebaixamento (Poços + Drenos)	-	445.185.388,60	-	24,501.40
	Cursos D'água	-	112.377.989,61	-	9,063.64
	Aporte/Saídas Laterais (GHBs)	280.641.541,56	1.260.462,32	21,674.12	15.53
	Recarga	147.294.076,44	-	21,434.30	-
	Total	608.869.987,58	608.861.645,86	44,063.50	44,063.98
	Discrepância (%)	0,00%		0,00%	

## 9 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

A avaliação de impactos apresentada neste capítulo foi realizada considerando as interferências que poderiam, eventualmente, ocorrer nas vazões dos cursos d'água presentes no entorno da mina de Fábrica (áreas 8, 9, 9 ½, Segredo/ Ponto 3, e Ponto 2), devido ao rebaixamento do nível d'água subterrâneo, conforme apresentado no capítulo anterior.

Além disso, apresenta-se também uma avaliação dos possíveis impactos sobre os usuários de água superficiais e subterrâneas outorgados pelo Estado e localizados na área de influência do rebaixamento.

### 9.1 ALTERAÇÕES NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PREVISTAS NAS SIMULAÇÕES

A Tabela 9.1 apresenta uma síntese das variações da disponibilidade hídrica, no que se refere às descargas de água subterrânea nos cursos d'água presentes no entorno da Mina de Fábrica, e Figura 9.1 mostra as zonas de balanço associadas a cada curso d'água representado.

Encontram-se listados os valores de vazão monitorados nos cursos d'água representados no modelo numérico, os resultados obtidos para estes cursos d'água na calibração em regime transiente (setembro-2015 – final do último período seco do período de calibração), e os resultados da simulação de rebaixamento do nível d'água (set-2026 final do período seco do ano em que o sistema de rebaixamento atinge a vazão máxima a ser produzida; e set-2048 – final do último período seco do período de simulação).

Optou-se por fazer a avaliação de impacto considerando os resultados do final da calibração em transiente, pois, além de as bacias representadas no modelo já estarem sob influência de diversas atividades antrópicas (rebaixamento, barragens, canalização de córregos, pilhas de estéril) antes da data de calibração do modelo em regime permanente (2005), a maioria dos registros de vazões datam de período posterior à 2005. Dessa forma, considerou-se mais coerente calcular impacto que poderá ocorrer a partir do ano de 2016.

**Tabela 9.1: Variações na disponibilidade hídrica dos cursos d'água presentes no entorno da Mina de Fábrica**

Bacia	Cor Zone Budget	Condição de Contorno associada	Descrição e Ponto de Monitoramento Associado	Dados de monitoramento	Vazão monitorada (m³/h)	Vazão monitorada (m³/dia)	Vazão Final do Transiente (m³/h) - set-2015	Vazão Final do Transiente (m³/dia) set-2015	Vazão Final Simulação (m³/h) set-2026	Vazão Final Simulação (m³/dia) set-2026	Variações na disponibilidade Hídrica 2026		Vazão Final Simulação (m³/h) set-2048	Vazão Final Simulação (m³/dia) set-2048	Variações na disponibilidade Hídrica 2048	
											m³/h	%			m³/h	%
Córrego das Almas	3	Drenos	Afluente do Almas	Não há	-	-	3,50	83,90	3,47	83,24	0,16	1%	3,38	81,07	-2,83	-15%
	4	Drenos	Afluente do Almas	Não há	-	-	3,49	83,80	3,49	83,65			3,37	80,81		
	5	Drenos	Trecho Afluente do Almas a montante do FAB_VZ-09/09	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	Entre 5 e 15	Entre 120 e 360	6,48	155,50	6,51	156,24			4,62	110,93		
	6	Drenos	Trecho Afluente do Almas a jusante do FAB_VZ-09/09	Não há	-	-	5,03	120,72	5,20	124,74			4,30	103,23		
	3 + 4 + 5 + 6		Afluentes do Almas		-	-	18,50	443,92	18,66	447,87			15,67	376,04		
Rib, da Prata	7	Drenos	Trecho Afluente Rib, da Prata a montante FAB_VZ- 76/08	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	Entre 8 e 20	Entre 192 e 480	7,59	182,20	0,94	22,51	-70,97	-73%	0,00	0,00	-72,81	-75%
	8	Drenos	Trecho Afluente Rib, da Prata a jusante do FAB_VZ- 76/08	Não há	-	-	9,01	216,20	0,03	0,82			0,01	0,15		
	11	Drenos	Afluente Rib, da Prata (Nascentes do Alto Jacutinga)	Não há	-	-	21,29	511,00	24,37	584,99			24,13	579,01		
	12	Drenos	Rib, da Prata - Jusante CB03 FAB_VZ- 08/12 e FAB_VZ- 08/09	Monitoramento Vale (2012 a 2015)	Entre 30 e 50	Entre 720 e 1200	59,25	1422,00	0,83	19,89			0,20	4,79		
	7 + 8 + 11 + 12		-		-	-	97,14	2331,40	26,18	628,21			24,33	583,95		
Cor, Água Santa	14	Drenos	Cór, Água Santa (Nascente S13+S14)	Não há	-	-	3,43	82,40	0,00	0,00	-3,41	-1%	0,00	0,00	-3,42	-1%
	19	Potencial Constante	P20 (Nascente Água Santa)	Água (2004) e Monitoramento Namisa	Entre 240 e 280	Entre 5760 e 6720	259,43	6226,30	259,45	6226,90			259,45	6226,70		
	14+19		-		-	-	262,86	6308,70	259,45	6226,90			259,45	6226,70		
Córrego Cordeiro	15	Drenos	FAB_VZ-jmendes/05	Monitoramento Vale (2009 a 2015)	Entre 3 e 10	Entre 72 e 240	4,34	104,20	4,50	107,93	5,17	10%	3,98	95,40	5,78	11%
	16	Drenos	P10A + P10B (Nascentes S04)	Água (2004)	137	3288	46,42	1114,10	51,42	1234,00			52,55	1261,30		
	17	Drenos	-	Não há	-	-	0,04	0,90	0,05	1,24			0,05	1,27		
	15 + 16 + 17		-		-	-	50,80	1219,20	55,97	1343,17			56,58	1357,97		
Trecho jusante Cór, Água Santa, Cór, Cordeiro e Ponciana	18	Drenos	S21 + S19	Água (2004)	-	-	5,49	131,70	4,95	118,91	-0,53	-10%	4,49	107,85	-0,99	-18%
Total Cor, Água Santa, Cordeiros e Ponciana	14+19+15+16+17+18						319,15	7659,60	320,37	7688,98	1,22	0%	320,52	7692,52	1,37	0%
<b>Variação Global da disponibilidade hídrica</b>							434,79	10434,92	365,21	8765,06	-69,58	-16%	360,52	8652,51	-74,27	-17%
<b>Variação Global da disponibilidade hídrica - considerando apenas os cursos d'água em que foram constatadas reduções nas vazões</b>							383,99	9215,72	309,25	7421,89	-74,74	-19%	303,94	7294,54	-80,05	-21%

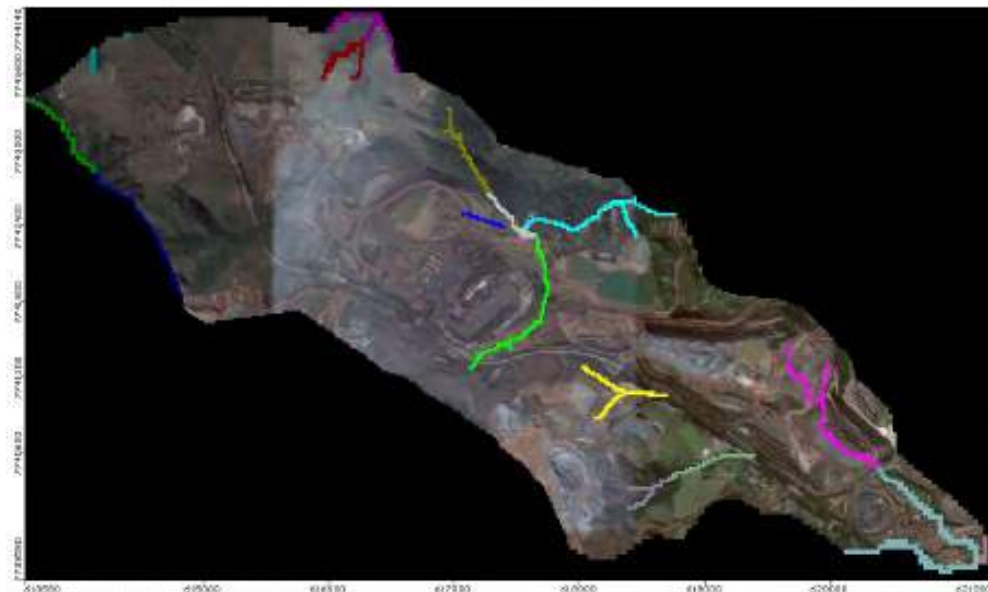


Figura 9.1: Distribuição das zonas de balaço no modelo numérico.

Com base nos resultados apresentados, a bacia que, possivelmente, será mais afetada pelo rebaixamento é a do Ribeirão da Prata, sendo que a redução na disponibilidade hídrica prevista para os anos de 2026 e 2048 é da ordem de 73% e 75% respectivamente (aprox. 71 e 73 m<sup>3</sup>/h).

No entanto, a Vale já disponibiliza a jusante do barramento existente no local uma vazão superior ao máximo impacto previsto pelo modelo numérico. Os registros do vertedor FAB\_VZ-08/09 (vide Figura 5.14 e Figura 5.15) apontam para uma vazão média de 118 m<sup>3</sup>/h considerando os três últimos meses (julho a setembro) do período seco dos anos 2016 e 2017.

De qualquer forma, cabe a Vale continuar o monitoramento das vazões neste curso d'água, de forma a identificar e avaliar qualquer alteração que ocorra durante as operações programadas da mina.

Os demais cursos d'água, apresentam variações menos expressivas na disponibilidade hídrica, em ambos os anos. Nos afluentes do Córrego das Almas nota-se uma redução de 15% (aprox. 3 m<sup>3</sup>/h) em 2048, provavelmente, associada ao desenvolvimento das lavras das áreas 8 e 9.

Para a nascente denominada Água Santa, os resultados das simulações não indicam variações na disponibilidade hídrica. Esse resultado está condizente com o comportamento observado na prática, vez que, com base nos registros de vazão

disponibilizados pela VALE durante o trabalho desenvolvido em 2016 (vide item 5.3.2), não foram constatadas interferências em sua vazão que possam estar associadas a operação do sistema de desaguamento da Mina de Fábrica, no período de 2005 a 2016. Vale lembrar inclusive, que a área em que esta nascente está posicionada, a qual não está dentro das propriedades da Vale, é carente de informações geológicas que caracterizem ou não a continuidade da formação ferrífera para sul.

Já no trecho do córrego Água Santa a montante da cava do Ponto 2, observa-se já em 2026 uma redução de 3,4 m<sup>3</sup>/h, a qual, caso ocorra, poderá ser mitigada com reposição a partir do volume produzido pelos poços de bombeamento que compõem o sistema de rebaixamento. E ainda que ocorra essa redução pontual, avaliando de forma mais geral a bacia que engloba os córregos Água Santa, Cordeiro e Ponciana, são observadas variações positivas, provavelmente, associadas à representação da recarga no modelo, visto que o ano cujos resultados foram utilizados para comparação (2015-2016) foi atípico em termos de volumes de precipitação, com chuvas abaixo da média plurianual, e as simulações de cenários futuros são processadas utilizando valores médios de precipitação.

Globalmente, a redução máxima prevista na disponibilidade hídrica, considerando apenas os córregos possivelmente afetados pelo rebaixamento do nível d'água subterrânea, é da ordem de 21% (aprox. 80 m<sup>3</sup>/h) em 2048

Sendo as reduções nas vazões dos cursos d'água realmente constatadas em campo, a vazão de água subterrânea produzida do sistema de rebaixamento, que poderá variar entre 700 e 2240 m<sup>3</sup>/h, será suficiente (Figura 9.2) para mitigar essas interferências mediante a reposição dos volumes reduzidos.

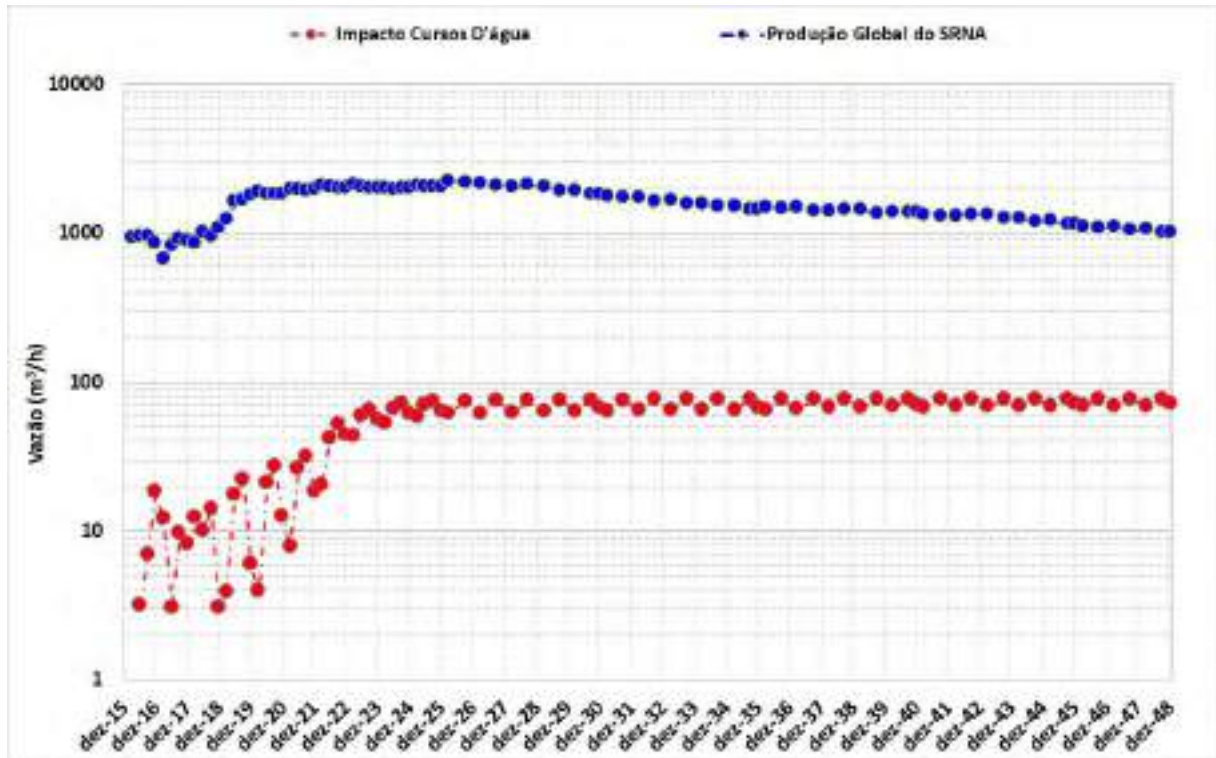


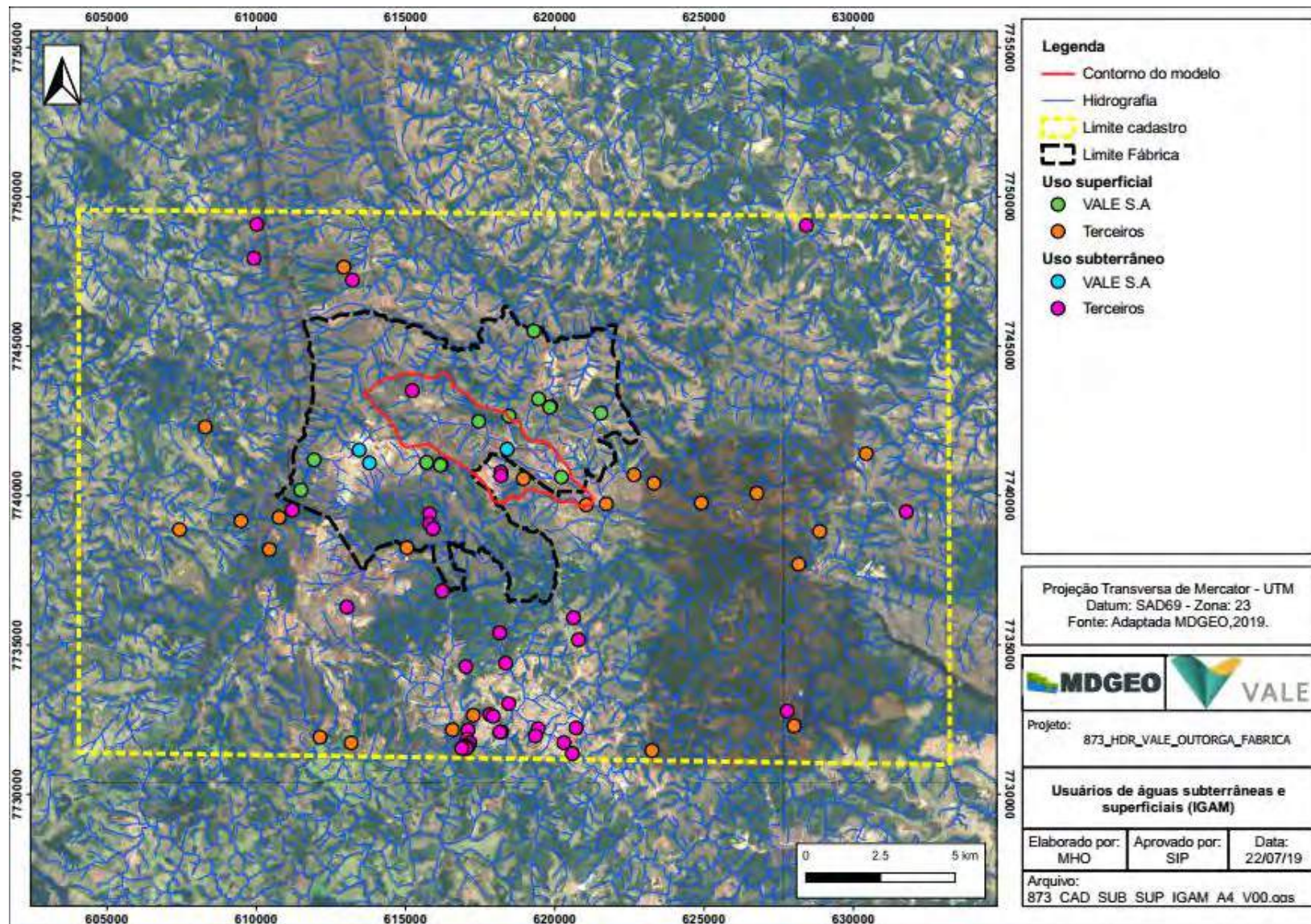
Figura 9.2: Vazão global produzida pelo sistema de rebaixamento do nível d'água (SRNA) e impacto na disponibilidade hídrica dos cursos d'água (após 2016).

## 9.2 POTENCIAIS INTERFERÊNCIAS EM USOS DE ÁGUA OUTORGADOS PARA TERCEIROS

Para a presente análise, foram utilizadas a localização e demais informações referentes aos usuários de águas superficiais e subterrâneas existentes no entorno da Mina de Fábrica. Essas informações foram compiladas de um banco de dados disponibilizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), o qual contém todos os usuários que possuem ou, em algum momento, possuíram outorga de uso de recurso hídrico.

O mapa da Figura 9.3 mostra a distribuição espacial dos usuários compilados da base de dados supracitada, em relação à área da Mina de Fábrica (incluindo Segredo e João Pereira). Na imagem, indica-se também os limites do modelo hidrogeológico numérico utilizado para simular o rebaixamento do nível d'água subterrâneo nas cavas 8, 9, 9 ½, Segredo/ Ponto 3, e Ponto 2 até o ano de 2048.



**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**

**Figura 9.3: Usuários de águas superficiais e subterrâneas outorgados – base de dados do IGAM.**

Do ponto de vista conceitual e com base nos resultados obtidos nas simulações numéricas, entende-se que a baixa transmissividade característica das rochas encaixantes (xistos) restringe os potenciais impactos aos usuários que captam águas de origem do sistema hidrogeológico das formações ferríferas, o que limita a influência do rebaixamento à área do próprio modelo numérico.

Com base nessa premissa, todos os pontos posicionados fora da área modelada e/ou em drenagens não associadas às descargas da formação ferrífera que ocorre no contexto na mina de Fábrica não serão impactados pelas operações rebaixamento do nível d'água.

Como a maioria das captações superficiais e/ou subterrâneas existentes dentro ou nas proximidades imediatas da área modelada são de uso da própria Vale, restam então 5 usuários (terceiros), um localizado na porção noroeste e 4 na porção sul da área modelada, posicionados dentro da área de influência direta das operações de lavra e de rebaixamento do nível d'água das cavas em questão. Estes usuários são listados na Tabela 9.2 e apresentados na Figura 9.4.

**Tabela 9.2: Pontos de captação de terceiros localizados dentro dos limites da área modelada**

Empreendedor	Latitude	Longitude	Tipo	Portaria	Data de Vencimento	Modo de uso	Finalidade	Vazão m³/h
NACIONAL MINERIOS SA	20°26'16"S	43°50'24"W	Superficial	2446/ 2009	18/09/2014	barramento em curso de água	Consumo industrial	252,0
FERRO + MINERAÇÃO SA	20°25'48"S	43°51'37"W	Superficial	1939/ 2010	23/07/2015	corpo de água	Consumo industrial	24,84
FERRO + MINERAÇÃO SA	20°25'45"S	43°52'3"W	Subterrâneo	1273/2007	19/07/2012	poço tubular	Consumo humano e industrial	12,0
FERRO + MINERAÇÃO SA	20°25'41"S	43°52'3"W	Subterrâneo	2308/2011	03/07/2015	poço tubular	Consumo industrial	42,0
NEW STEEL SA	20°24'13"S	43°53'46"W	Subterrâneo	3440/2017	17/09/2023	poço tubular	Consumo humano	0,43

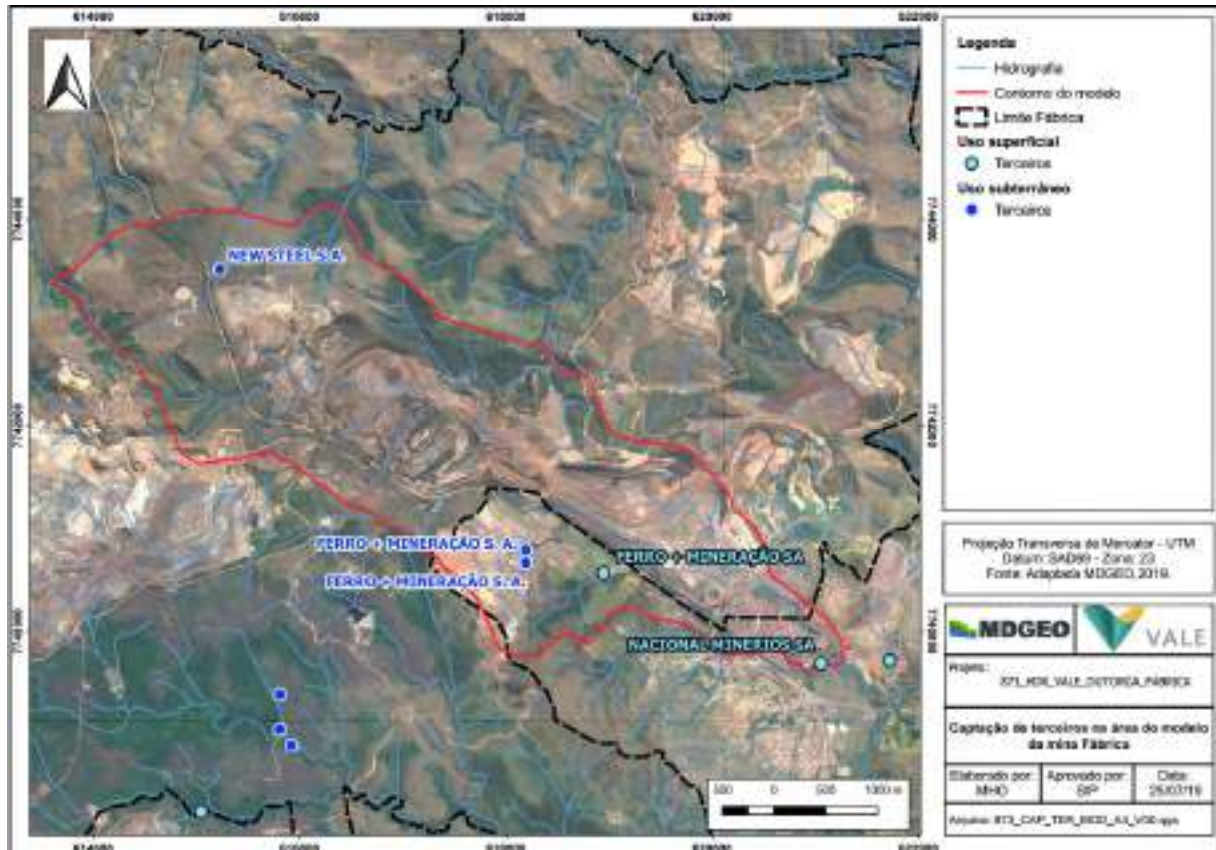


Figura 9.4: Usuários de águas superficiais e subterrâneas outorgados – base de dados do IGAM – zoom na área modelada.

Ainda que os pontos das empresas Ferro + Mineração e Nacional Minérios estejam dentro dos limites modelados, segundo as previsões do modelo numérico, a sub-bacia a qual eles pertencem (Córrego Cordeiro) não será impactada pelo avanço das operações de rebaixamento do nível d'água (vide Tabela 9.1), o que, conceitualmente, já era esperado, vez que estes pontos encontram-se posicionados nas encaixantes, e, segundo o modelo conceitual vigente, hidráulicamente desconectados das formações ferríferas.

Com relação ao ponto da empresa New Steel, segundo informações disponibilizadas pela Vale, essa empresa ainda será instalada nas proximidades do ponto indicado no mapa, sendo que atualmente não há captação no mesmo. Após plotar o ponto de captação no modelo numérico, o mesmo encontra-se locado também nas encaixantes (com base nas informações geológicas disponibilizadas pela contratante), e, por isso, é provável que não ocorra impacto. Ainda que este ponto venha a ser impactado devido à proximidade com a cava 8, o volume de água que

será produzido pelos poços da Vale na referida cava seria suficiente para suprir a vazão outorgada para empresa New Steel.

Em resumo, segundo o modelo numérico, os eventuais impactos que poderiam vir a ocorrer sobre a disponibilidade dos recursos hídricos na região da mina de Fábrica estariam limitados à unidade hidrogeológica da formação ferrífera e aos cursos d'água presentes dentro (Córrego Água Santa) ou muito próximo à área de desenvolvimento da lavra (cabeceiras do Córrego das Almas e do Ribeirão da Prata).

Por isso, todas as captações que se encontram fora dessa unidade, e das bacias desses cursos d'água, estariam isentas do risco de interferência, o que é o caso de todas as captações superficiais e subterrâneas de terceiros outorgadas presentes no entorno da mina, com exceção da captação atualmente inexistente (informação e-mail VALE) da New Steel, que, eventualmente, poderá ser impactada.

## 10 SISTEMA DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

### 10.1 ESTRUTURAS DE DRENAGEM E REBAIXAMENTO

Com base no avanço de lavra, nos níveis d'água atuais, e nos resultados das simulações numéricas são propostas as seguintes estruturas de drenagem:

- **Poços tubulares profundos:** drenagem da formação ferrífera;
- **Drenos horizontais/sub-horizontais:** alternativa para a drenagem/alívio de pressão dos taludes, a ser avaliado ao longo da abertura das frentes de lavra.
- **Canaletas de drenagem:** adução de água subterrânea e superficial produzida nos taludes das cavas a um ponto de descarte por gravidade ou bombeamento.
- **Sumps:** coleta e bombeamento de água subterrânea e superficial produzida nos taludes e/ou no fundo da cava, para fora da mesma.

A seguir, serão apresentadas uma breve descrição e o projeto conceitual dessas estruturas.

#### 10.1.1 Poços tubulares profundos

Principais estruturas de drenagem de cava, deverão ser perfurados com o objetivo de promover o rebaixamento do nível d'água das formações ferríferas nas regiões em cava fechada que avançam em profundidade e que atualmente encontram-se saturadas.

Com base nos resultados do modelo numérico, estima-se que seja necessária a construção de 30 novos poços entre 2019 e 2024, e outros 14 poços entre 2025 e 2048, com vazões que variam entre 25 e 100 m<sup>3</sup>/h.

A Tabela 10.1 a seguir apresenta o sequenciamento de poços considerados nas simulações numéricas realizadas e a Figura 10.1.

**ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA**
**Tabela 10.1: Sequenciamento de poços novos inseridos nas simulações realizadas**

Ano	Área	Dados Poços de Bombeamento			
		Poços	X	Y	Vazão Inicial Considerada (m³/h)
2019	Área 8	PTP-40-19	615548	7743211	100
		PTP-41-19	615408	7743170	100
	Área 9 1/2	PTP-42-19	617391	7742433	50
		PTP-43-19	617394	7742346	50
	Segredo e Ponto 3	PTP-44-19	618649	7741648	50
	Ponto 2	PTP-45-19	620269	7740615	50
		PTP-46-19	620129	7740611	50
PTP-47-19		620250	7740568	50	
2020	Área 9 1/2	PTP-48-19	620070	7740666	50
		PTP-49-20	617195	7742509	50
	Segredo e Ponto 3	PTP-50-20	617286	7742453	50
		PTP-51-20	619355	7741467	50
		PTP-52-20	619052	7741489	50
2021	Área 9 1/2	PTP-53-20	619310	7741485	50
		PTP-54-21	617429	7742331	50
	Segredo e Ponto 3	PTP-55-21	617310	7742409	50
		PTP-56-21	618449	7741771	50
		PTP-57-21	619310	7741449	50
Ponto 2	PTP-58-21	620048	7740709	50	
2022	Área 8	PTP-59-22	615394	7743067	100
	Segredo e Ponto 3	PTP-60-22	619012	7741531	25
		PTP-61-22	618433	7741630	50
	Ponto 2	PTP-62-22	620109	7740772	50
2023	Área 8	PTP-63-23	615432	7742995	100
	Segredo e Ponto 3	PTP-64-23	619252	7741511	25
		PTP-65-23	619227	7741491	25
		PTP-66-23	619153	7741371	50
	Ponto 2	PTP-67-23	620168	7740648	50
2024	Ponto 2	PTP-68-24	620213	7740692	50
	Segredo e Ponto 3	PTP-69-24	619130	7741331	50
2025	Área 8	PTP-70-25	615687	7743150	50
		PTP-71-25	615593	7743147	100
		PTP-72-25	615628	7743091	50
2026	Área 8	PTP-73-26	615566	7743105	100
		PTP-74-26	615493	7743086	100
		PTP-75-26	615525	7743162	100
2027	Área 8	PTP-76-27	615654	7743124	50
		PTP-77-27	615557	7743049	100
2028	Área 8	PTP-78-28	615489	7743135	100
		PTP-79-28	615472	7743190	50
2036	Área 9	PTP-80-36	616429	7742830	100
2038		PTP-81-38	616431	7742748	100
2040		PTP-82-40	616429	7742671	100
2042		PTP-83-42	616611	7742665	100

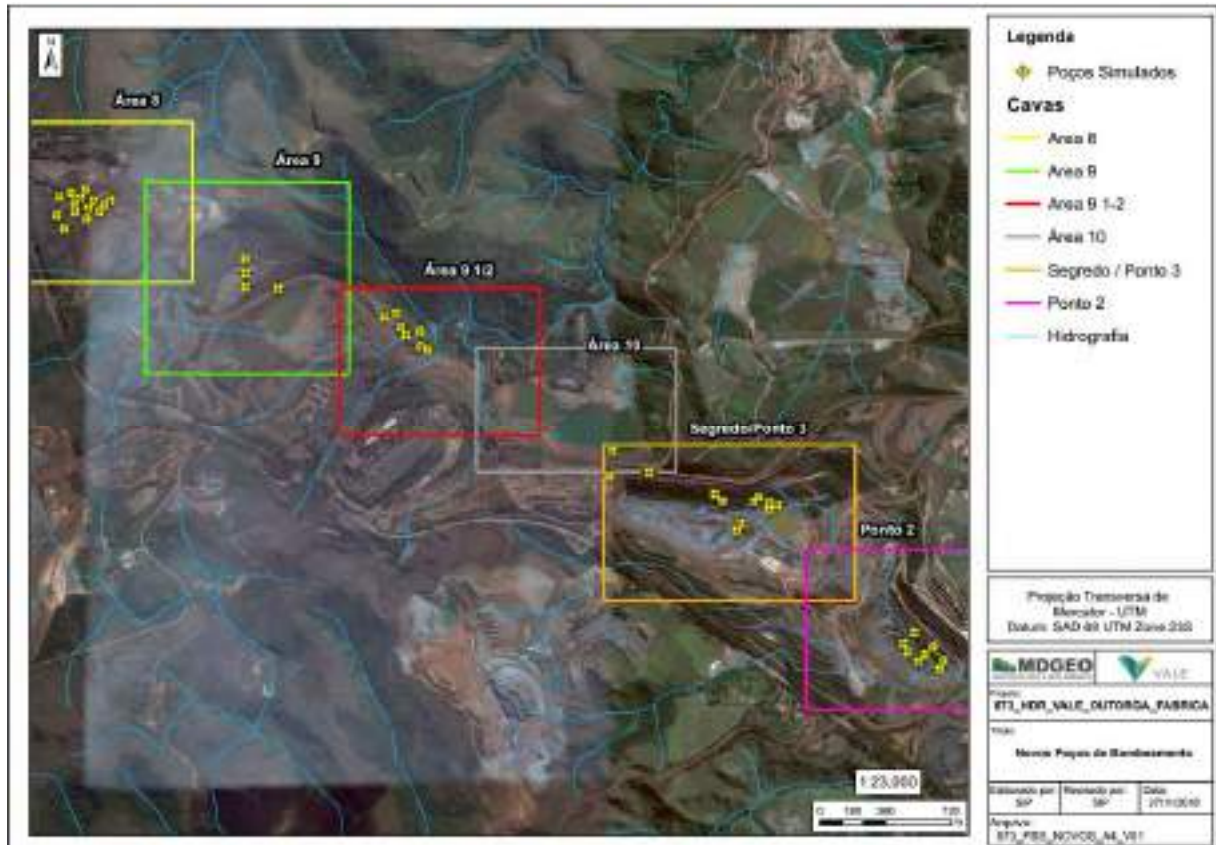


Figura 10.1: Distribuição dos poços de bombeamento simulados.

Vale ressaltar que as locações dos poços e vazões iniciais, aqui previstos, são conceituais, devendo na prática levar em consideração critérios de campo, sobretudo, análise de testemunhos de sondagem próximos, e o monitoramento de nível d'água local.

Além disso, conforme mencionado, na prática, o número de poços poderá variar, a depender da capacidade e eficiência, tempo de bombeamento efetivo, momento real de início bombeamento, e vida útil dos poços existentes e posteriormente instalados.

De forma geral, as especificações técnicas dos poços a serem perfurados devem seguir o modelo padrão dos poços já perfurados, devendo-se ter em conta os seguintes aspectos:

- Os poços devem ser perfurados, de preferência, até o contato com as encaixantes, sendo assim a profundidade dos mesmos serão definidas após a locação definitiva. Observando o modelo geológico de blocos atual acredita-se

que a profundidade dos poços poderá variar entre 100 e 350m, sendo os poços locados nas áreas 8 e 9, provavelmente os mais profundos;

- O diâmetro de perfuração poderá ser de 17 ½” (sistema rotativo), enquanto o diâmetro do revestimento poderá ser de 8 ou 10”, tendo em vista as vazões esperadas para cada poço (25 a 100 m<sup>3</sup>/h);
- Para poços que atingirem o itabirito compacto fraturado, a perfuração poderá prosseguir por dentro do revestimento com sistema roto-percussivo (martelo de fundo) no diâmetro 6 polegadas até onde se julgar necessário para o aproveitamento de água (fraturas), sendo que neste intervalo inferior (rocha compacta), o poço não deve ser revestido;
- Durante a perfuração devem ser utilizados centralizadores de 30 em 30 metros;
- O revestimento deverá ser composto por tubos liso em aço galvanizado e tubos filtros espiralado também em aço galvanizado, reforçado, com aberturas de 0,50 ou 0,75 mm;
- O projeto do perfil construtivo deverá ser elaborado após análise das amostras de calha e do perfil litológico do poço, com indicação dos trechos em tubo liso e filtros;
- Na completação a seção filtrante deve ser preenchida com pré-filtro tipo pérola granulometria 0.6 a 1.2 mm;
- Após finalizado deve se realizar o desenvolvimento e limpeza dos poços com jateamento de água e bombeamento com compressor, e proceder com o acabamento do mesmo (laje sanitária + marco topográfico);
- Por fim, deverão ser realizados testes de produção, ensaios escalonados, e testes de aquífero.

A Figura 10.2 mostra um perfil conceitual para ilustrar as características dos poços de bombeamento a serem construídos.



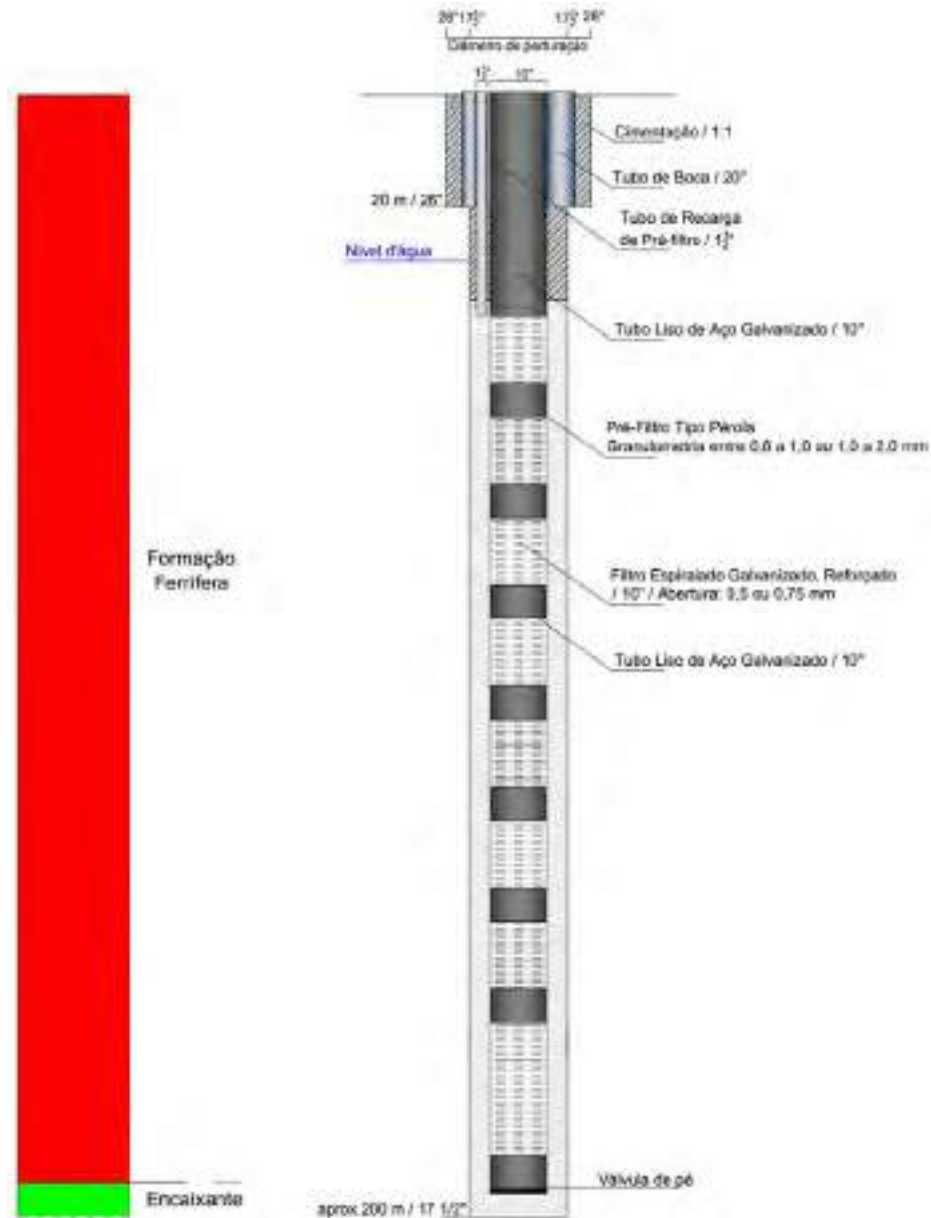


Figura 10.2: Perfil construtivo conceitual para poços tubulares profundos.

Para bombeamento serão utilizadas bombas submersas elétricas (modelo igual ou semelhante ao atualmente utilizado), e em superfície e bombas centrífugas para recalque.

### 10.1.2 Drenos horizontais/sub-horizontais

Consiste em uma alternativa para a drenagem/alívio de pressão dos taludes da cava desenvolvidos nas encaixantes, sendo a necessidade de implantação deve ser avaliada ao longo da abertura das frentes de lavra.

Devem ser perfurados com diâmetro de aproximadamente 4 polegadas e revestidos com tubo liso PVC de 2 polegadas nos primeiros 8 metros. A partir de 8 m a perfuração prosseguirá no diâmetro 4 polegadas, sendo revestida em 2 polegadas com filtro piezométrico de PVC (Figura 10.3).

Recomenda-se que os furos sejam executados com sonda roto-percussiva que consegue executar um furo de 100 metros com facilidade.

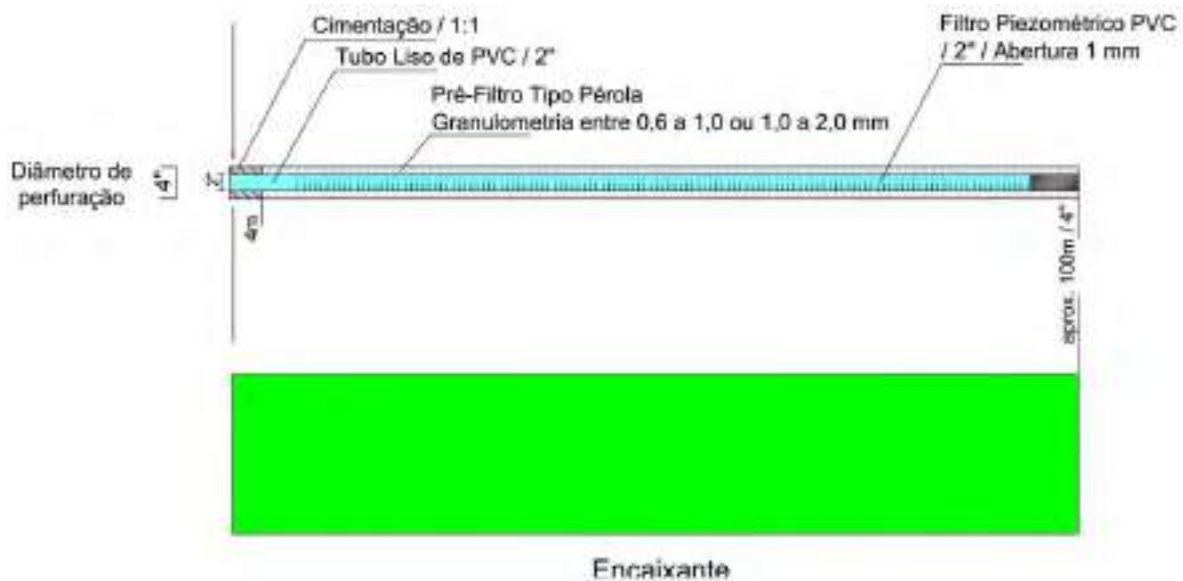


Figura 10.3: Perfil construtivo conceitual para drenos horizontais e sub-horizontais.

### 10.1.3 Sumps

Os *sumps* serão escavados no *bottom pit* das cavas, em sua porção mais baixa e favorável ao avanço de lavra, com profundidade recomendada de aproximadamente 5 metros. A estes, serão destinadas tanto a água subterrânea que aflora na cava (coletada pelos DHPs e/ou pelas canaletas), quanto à água pluvial.

Deste a água deverá ser bombeada para fora da área de operações mediante o uso de bombas submersíveis com funcionamento automático e tubulações relocáveis, com devidos instrumentos para monitorar suas vazões, tais como horímetros e hidrômetros.

A Figura 10.4 ilustra as estruturas que utilizadas para o rebaixamento do nível d'água subterrâneo da Mina de Fábrica operando em conjunto.

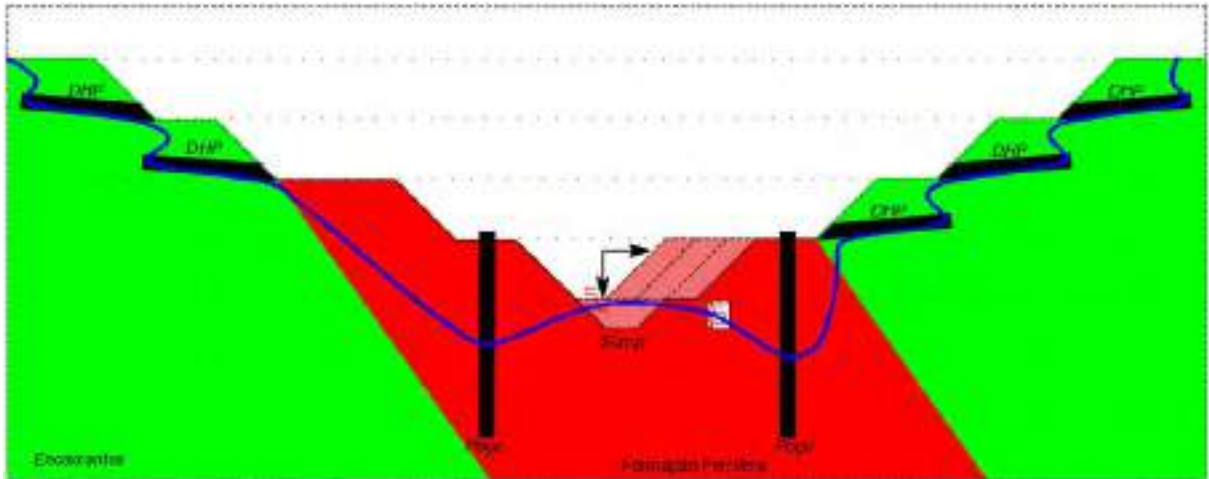


Figura 10.4: Esquema ilustrativo das estruturas de desaguamento utilizadas.

Para melhor desempenho da atividade de rebaixamento, recomenda-se a operação ininterrupta do *sump* nas partes mais profundas da cava, procurando manter o mesmo praticamente seco.

## 10.2 PLANO DE USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A partir da disponibilização de água subterrânea proveniente do sistema de rebaixamento de nível d'água, cuja vazão máxima prevista é de 2240 m<sup>3</sup>/h, o volume produzido será destinado para usos do empreendimento.

De forma geral, as principais finalidades previstas para uso da água são:

- Mitigação dos possíveis impactos na disponibilidade hídrica dos cursos d'água locais, por meio de reposição;
- Abastecimento humano dos funcionários nos restaurantes, escritórios e canteiros;
- Uso nos processos industriais da mina e da usina;
- Uso em processos de controle ambiental, tal como aspersão de poeira na mina e em vias, de forma a garantir uma melhor qualidade do ar; irrigação de áreas verdes; entre outros.

### 10.3 PLANO DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Ao longo de todo o processo de lavra, deve-se continuar o monitoramento sistemático de variáveis hidrogeológicas e hidrológicas tais como: as chuvas, por meio de pluviômetro ou pluviógrafo; o nível d'água subterrâneo, por meio de piezômetros ou INAs; as vazões nos cursos d'água do entorno, por meio de medidores fixos ou móveis; e as vazões dos sistema de rebaixamento, por meio de hidrômetros e horímetros.

A Mina de Fábrica já dispõe de uma rede de monitoramento bastante ampla e robusta tal como apresentado no capítulo 6 deste relatório. O acompanhamento da pluviometria já ocorre de forma adequada.

No caso do monitoramento das vazões do sistema de rebaixamento, os poços existentes também são monitorados adequadamente. Sendo assim, as vazões produzidas pelos novos poços de bombeamento devem ser igualmente monitoradas a partir do registro do volume bombeado e das horas de operação da bomba. Recomenda-se a realização de melhorias no acompanhamento das vazões dos *sump* as quais não são monitoradas de forma contínua, sendo também indicado o uso de hidrômetros e horímetros para registro dos volumes produzidos principalmente no período de estiagem.

Com relação a rede de monitoramento do nível d'água subterrâneo recomenda-se a ampliação da rede de monitoramento de nível d'água, principalmente, nas Áreas 8 e 9, visando melhorar o entendimento das condições de fluxo na porção noroeste da mina, verificar os resultados obtidos na modelagem numérica, e possibilitar o acompanhamento da evolução do nível d'água subterrâneo antes e durante o desaguamento das cavas que serão desenvolvidas nessa região.

Além disso, faz-se necessário realizar a reposição de instrumentos que tenham sido destruídos pela lavra, visando à obtenção de séries de dados cada vez mais contínuas e representativas do comportamento global do aquífero ao longo da operação do sistema de rebaixamento.

Com relação aos pontos de monitoramento de vazão em cursos d'água os pontos atualmente ativos devem seguir sendo monitorados, e recomenda-se a implementação de apenas mais um ponto em um dos afluentes do Córrego das Almas.

Desta forma, sugere-se a construção de mais 25 instrumentos de monitoramento do nível d'água subterrâneo e a implantação de mais um ponto de monitoramento de vazão, os quais são listados na Tabela 10.2 a seguir e especialmente apresentados na Figura 10.5.

**Tabela 10.2: Instrumentos propostos**

NOME	X	Y	Z (m)
PZ-01	614584	7742706	1480
PZ-02	615091	7742782	1360
PZ-03	615524	7743127	1290
PZ-04	615563	7743000	1290
PZ-05	615219	7743350	1320
PZ-06	615934	7743111	1280
PZ-07	616098	7742900	1270
PZ-08	616413	7742749	1220
PZ-09	616433	7742522	1210
PZ-10	616606	7742660	1210
PZ-11	616903	7742698	1170
PZ-12	617337	7742304	1140
PZ-13	617521	7742413	1120
PZ-14	617778	7742066	1140
PZ-15	618064	7741831	1170
PZ-16	618481	7741510	1160
PZ-17	618673	7741974	1140
PZ-18	619029	7741299	1100
PZ-19	619273	7741530	1100
PZ-20	619320	7741186	1150
PZ-21	619515	7741304	1160
PZ-22	620026	7740635	1010
PZ-23	620150	7740732	1020
PZ-24	620409	7740494	1050
PZ-25	620763	7740150	1030
VZ-01	613485	7743492	-

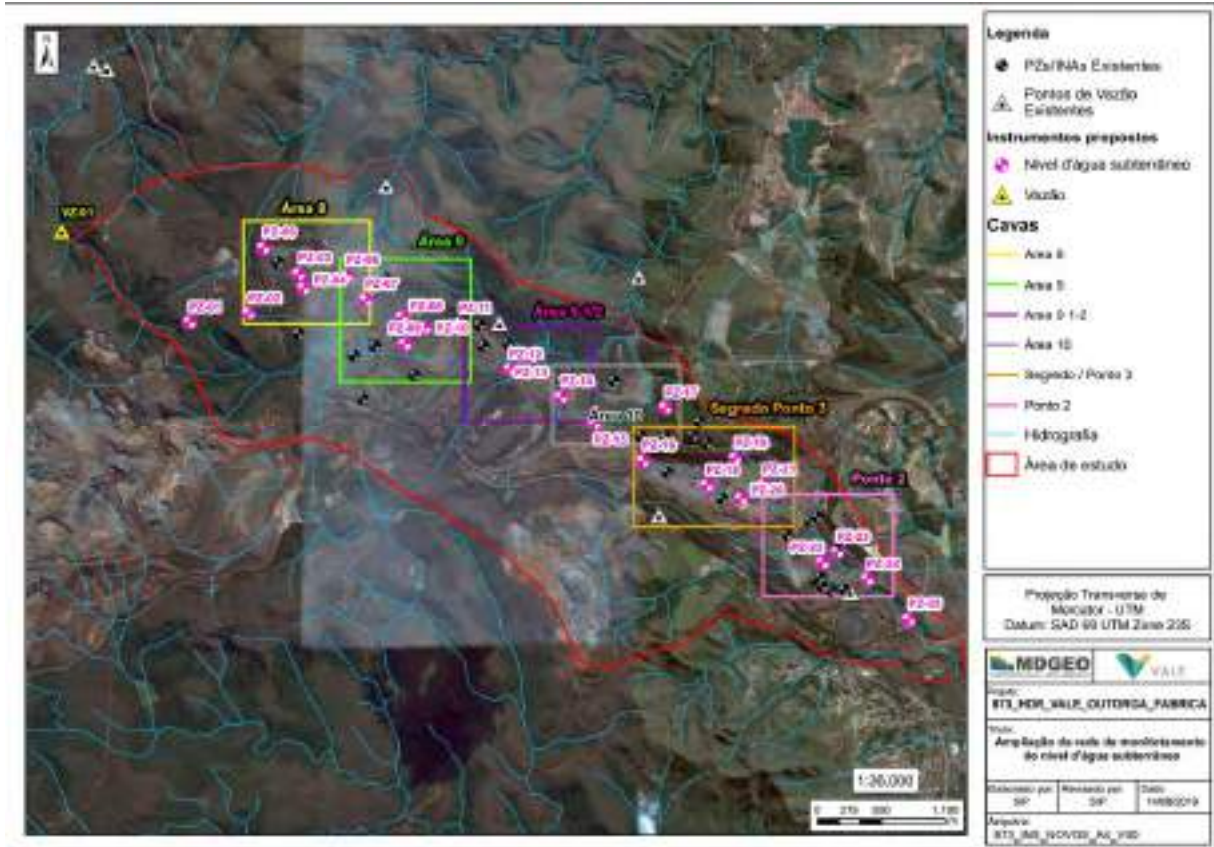


Figura 10.5: Ampliação da rede de monitoramento.

Esses pontos poderão ser implantados no decorrer dos próximos anos de operação da mina, sendo que a locação sugerida para os mesmos é conceitual, e, na prática, poderá variar após avaliação dos critérios de campo.

Os instrumentos propostos para acampamento do nível d'água subterrâneo, poderão ser do tipo de piezômetro ou indicador de nível de água (INA), e a profundidade poderá variar entre 50 e 350 metros, sendo recomendado que estes sejam perfurados até o contato com as encaixantes, ou com o itabirito compacto sem fraturas, ou ainda até atingir cotas de base iguais ou inferiores às cotas dos pits finais das cavas adjacentes. Já os instrumentos locados nas encaixantes (principalmente, entre Ponto 2 e a Nascente de Água Santa) podem ser mais rasos (até 50 m). Os novos instrumentos poderão ser perfurados com sistema rotativo, ou roto-percussivo, no diâmetro de 100 mm (4"), e revestidos com tubos de PVC marrom (lisos e filtros) de 40 mm de diâmetro (DE 40).

Já no ponto destinado a medição de vazão, poderão ser adotados métodos com instrumentos móveis (*flow-tracker*, micromolinete) ou fixos (vertedor). A metodologia aplicável deve ser definida em função das características do curso d'água.

A Tabela 10.3 apresenta uma proposta de plano de monitoramento com as apontando as variáveis monitoradas, formas de medição utilizadas e frequência de monitoramento.

**Tabela 10.3: Plano de monitoramento hidrogeológico e hidrológico (variáveis e frequências de monitoramento)**

Instrumentos	Variável monitorada	Aparelhos de medição	Frequência de monitoramento
Pluviômetro	Chuvas	Pluviômetro	Diária
Indicadores de Nível d'água (INAs)	Nível d'água subterrâneo	Data <i>logger</i> ou medidor elétrico	Mensal
Piezômetros (PZs)	Nível d'água subterrâneo	Data <i>logger</i> ou medidor elétrico	Mensal
Pontos de Medição de Vazão	Vazões em cursos d'água	Vertedores, Micromolintez, e/ou <i>Flow-Tracker</i>	Quinzenal
Poços de bombeamento	Volumes bombeados	hidrômetro	Mensal
	Horas de operação da bomba	Horímetro	
<i>Sumps</i>	Volumes bombeados	Hidrômetro	Mensal
	Horas de operação da bomba	Horímetro	

## 11 CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A partir do modelo numérico elaborado em 2016 pela MDGEO e calibrado nos regimes permanente e transiente na ocasião, foram realizadas as simulações do rebaixamento do nível d'água compreendendo o período de 01/02/2016 a 31/12/2048, visando atender ao planejamento de lavra da mina entre os anos de 2019 e 2048.

As simulações mostraram que nas cavas Ponto 2, Segredo/Ponto 3, 8, 9 e 9 ½, a continuidade do bombeamento com os poços existentes é insuficiente para manter o nível d'água rebaixado de acordo com a demanda da lavra, sendo necessária a construção de novos poços para incrementar as vazões produzidas, que deverão ser perfurados a partir de 2019.

Além dos poços de bombeamento, foi necessário o uso de drenos, principalmente nas porções em que as cavas avançam sobre as encaixantes. Na prática, deverão ser construídos drenos horizontais profundos (*DHPs*), nessas regiões, em função da demanda geotécnica. Drenos também foram utilizados para representar o bombeamento de *sumps* que devem ser alocados no fundo das cavas.

Segundo os resultados das simulações, a vazão de água subterrânea a ser produzida pelo sistema de rebaixamento (poços + *sump* + *DHPs*) para atender aos horizontes de curto, médio e longo prazo (2018 a 2048) da lavra prevista para a Mina de Fábrica variou entre 1010 e 2240 m<sup>3</sup>/h, sendo a máxima vazão atingida no ano de 2023.

Sendo assim, com base nos estudos realizados, recomenda-se que o pedido de outorga do sistema de rebaixamento do nível d'água da Mina do Fábrica (área, 8, 9 9 ½, Segredo e Ponto 3, e Ponto 2) seja baseado no valor de vazão máxima resultante das simulações, ou seja, 2240 m<sup>3</sup>/h.

Para melhor desempenho da atividade de rebaixamento, recomenda-se a operação ininterrupta com vazão máxima da bateria de poços, além da utilização do *sump* nas partes mais profundas das cavas, procurando manter o mesmo praticamente seco.

No que se refere à variação da disponibilidade hídrica dos córregos, globalmente, a redução global máxima prevista, que poderá acontecer, a partir de 2016 (final da calibração em transiente), devido ao rebaixamento, é de 21% (aprox. e



80 m<sup>3</sup>/h). A maior parte desse impacto (73 m<sup>3</sup>/h) já se encontra mitigado a partir da regularização/reposição já realizada no Rib. da Prata. Caso as demais reduções previstas para os próximos anos de operação da lavra sejam realmente constatadas em campo, a produção do sistema de rebaixamento (entre 1010 e 2240 m<sup>3</sup>/h) é suficiente para mitigar essas interferências.



Além disso, a partir da avaliação das interferências calculadas pelo modelo numérico em relação aos usuários de águas superficiais e subterrâneas presentes no entorno na Mina de Fábrica, pode-se dizer que todas as captações outorgadas estão posicionadas fora da área de influência do rebaixamento do nível d'água, com exceção da captação atualmente inexistente da New Steel, a qual, por estar dentro da área modelada e muito próximo da área de influência da cava 8, eventualmente, poderá ser impactada.

Com relação à rede de monitoramento atualmente instalada na Mina de Fábrica, é necessário a ampliação da mesma, principalmente nas áreas das cavas 8 e 9, para verificação dos resultados apontados pelo modelo numérico. Ressalta-se ainda a importância de dar continuidade ao monitoramento dos instrumentos existentes e realizar a reposição os instrumentos destruídos pela lavra, visando à obtenção de séries de dados cada vez mais contínuas e representativas do comportamento global do aquífero ao longo da operação do sistema de rebaixamento.

## 12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ÁGUA. (2004). *Relatório e Plano de Controle Ambiental do Sistema de Rebaixamento dos Níveis de Água Subterrânea da Mina Segredo, Pontos II e III, Ouro Preto - MG. . Vol 1. 74p.* Belo Horizonte: Relatório Técnico - RCAPCA - Vol 1.
- DE FILIPPO, M. (2003). Caracterização de Parâmetros Hidrogeológicos em litologias do Quadrilátero Ferrífero, MG. *Artigo técnico - Escola de Engenharia da UFMG.*
- ENDO, I. (2003). *Projeto Congonhas. Estratigrafia e Arcabouço Estrutural da Região do Pico do Engenho e Adjacências, Município de Congonhas, MG.* Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
- GOLDER. (2007). *Cadastramento de Nascentes e Definição de Malha de Monitoramento de Vazão e Qualidade de Águas nas Minas Fazendão, Água Limpa e Fábrica.* Belo Horizonte: Relatório Técnico - RT-049-5108-1310-0007-02-J.
- HIDROVIA, & POTAMOS. (2013). *Estudos Regionais para Expansão da Mina Fábrica.* Belo Horizonte: Relatório Técnico: POTVAL2008-003-1-TC-RTF-0003.
- HÛBENER, A. (maio de 2009). Mapeamento Litoestrutural da Cava João Pereira - Mina Fábrica - Congonhas - MG. *Monografia do curso Especialização em Mineiro Metalúrgicos - UFOP*, p. 64.
- LOBATO, L., BALTAZAR, O., REIS, L., ACHTSCHIN, A., TIMBÓ, M., BERNI, G., . . . FERREIRA, D. (2005). *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa.* Belo Horizonte: CODEMIG.
- MDGEO. (1997). *Projeto de Rebaixamento do Nível D'água Mina do Pires - Cava Ponto II - Grupo Empresarial Itaminas.* Belo Horizonte: Relatório Técnico - RELFIN.
- MDGEO. (2012). *Modelo Hidrogeológico Numérico das Cavas Ponto 2, Ponto 3 e Segredo - Ano Base 2012.* Belo Horizonte: Relatório Técnico - R-VALE342-01-MN-R2.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_VALE873_03_OUT_RF
ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA		

MDGEO. (2017). *Atualização dos Modelos de Simulação de Fluxo –DILF- Relatório do Modelo Numérico da Mina de Fábrica Ouro Preto - MG*. Belo Horizonte: Relatório Técnico - R\_VALE678\_01\_MN\_RF.

## ANEXOS

## ANEXO I - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA



1. Responsável Técnico

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;** RNP: [REDACTED]  
 Registro: 04.0.0000081028

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA** Registro: 22580

2. Dados do Contrato

Contratante: **VALE S.A** CNPJ: 33.592.510/0037-65  
 Logradouro: **AVENIDA DOUTOR MARCO PAULO SIMON JARDIM** Nº: 003580  
 Cidade: **NOVA LIMA** Estado: **MINA DE ÁGUAS CLARAS**  
 UF: **MG** CEP: 34006270  
 Contrato: 5900041838 -05/2018 Celebrado em: 02/08/2018  
 Valor: 83.672,51 Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **AVENIDA DOUTOR MARCO PAULO SIMON JARDIM** Nº: 003580  
 Cidade: **NOVA LIMA** Estado: **MINA DE ÁGUAS CLARAS**  
 UF: **MG** CEP: 34006270  
 Data de início: 02/08/2018 Previsão de término: 30/11/2018  
 Finalidade: **AMBIENTAL**  
 Proprietário: **VALE S.A** CNPJ: 33.592.510/0037-65

4. Atividade Técnica

Atividade	Quantidade	Unidade
1 - CONSULTORIA PROJETO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	8.00	h/d

Após o cancelamento das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações  
**ATUALIZAÇÃO DE COTAGEM DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA - MINA DE FÁBRICA.....**

6. Declarações

7. Entidade de Classe  
**SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE**

8. Assinaturas

Dados serem verdadeiras as informações acima

*[Assinatura]* 3/4 de Novembro de 2018

**ERSON ALDAMIR PEREIRA** RNP: 1403084220

**VALE S.A** CNPJ: 33.592.510/0037-65

9. Informações

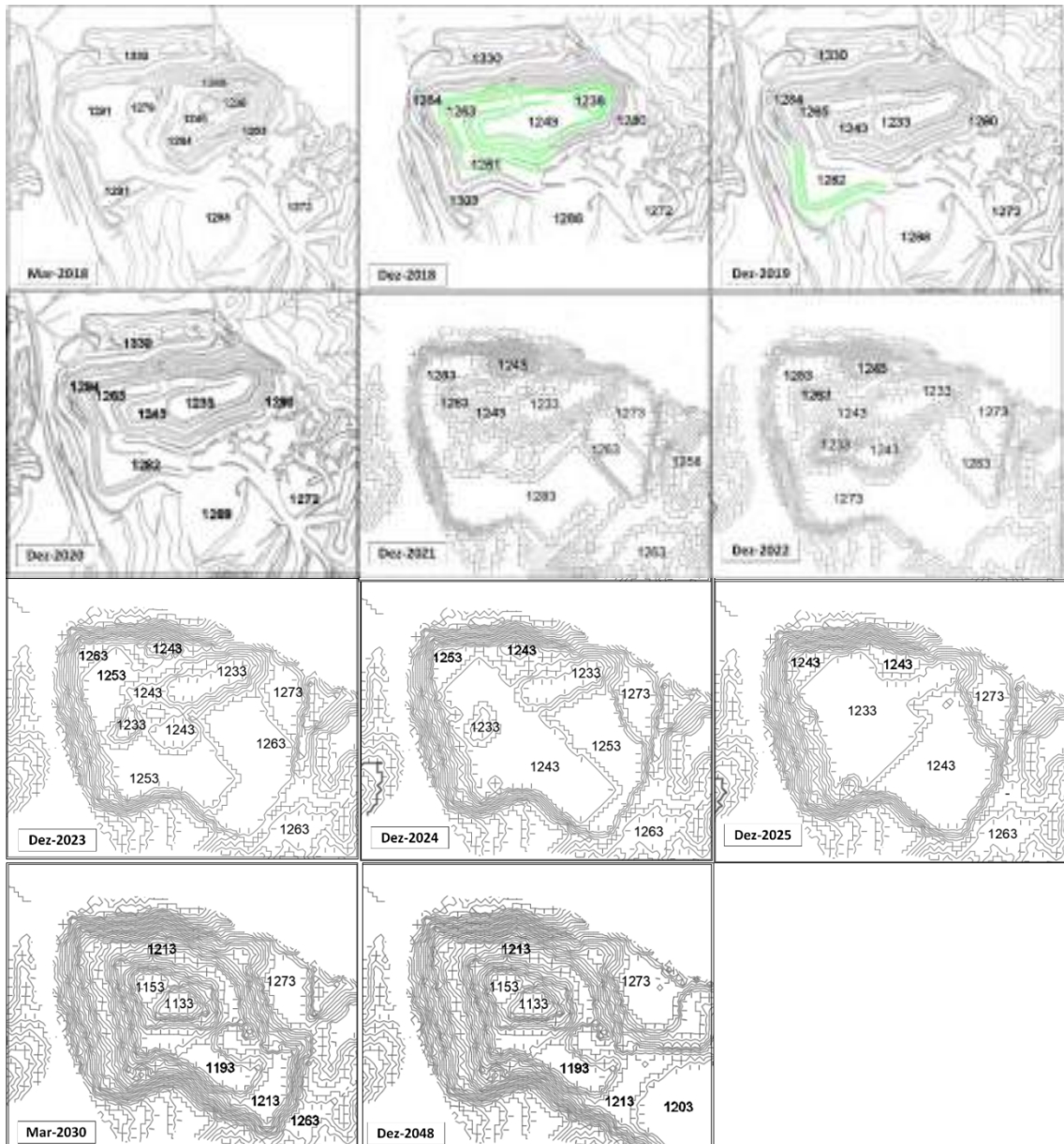
- A ART é válida somente quando exibida, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou confissão no site do Crea.
- A sua validade (este documento) pode ser verificada no site [www.crea-mg.org.br](http://www.crea-mg.org.br) ou [www.cofre.org.br](http://www.cofre.org.br)
- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

VALOR DA OBRA: R\$ 83.672,51. DATA DE ATUAÇÃO: **HIDROGEOLOGIA,**

**CREA-MG**  
[www.crea-mg.org.br](http://www.crea-mg.org.br) | 0800.0312732

## ANEXO II – IMAGENS DO PLANO DE LAVRA UTILIZADO

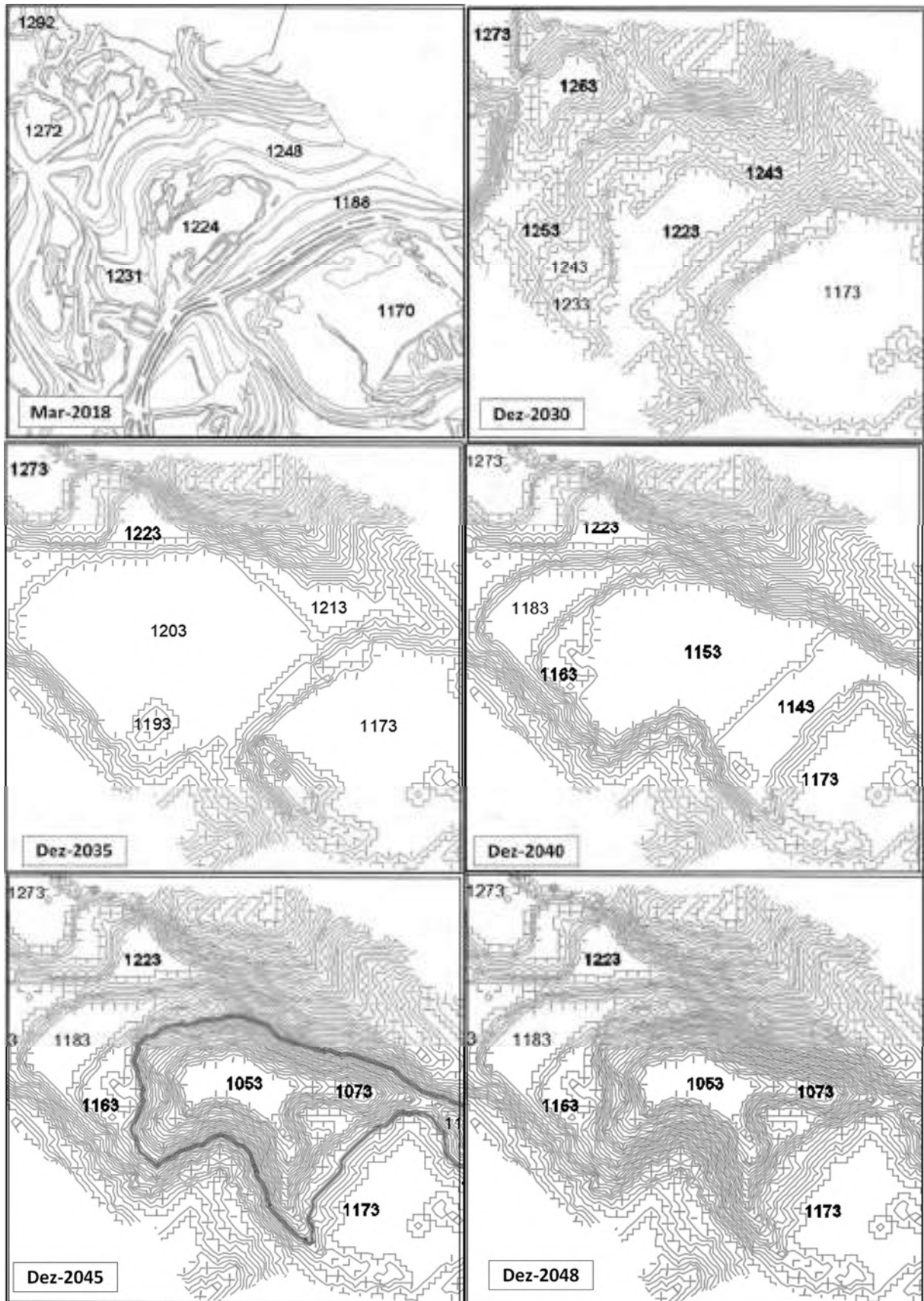
## ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA



**Evolução da lavra planejada para a Área 8 (após 2030 não há previsão de lavra nessa área).**

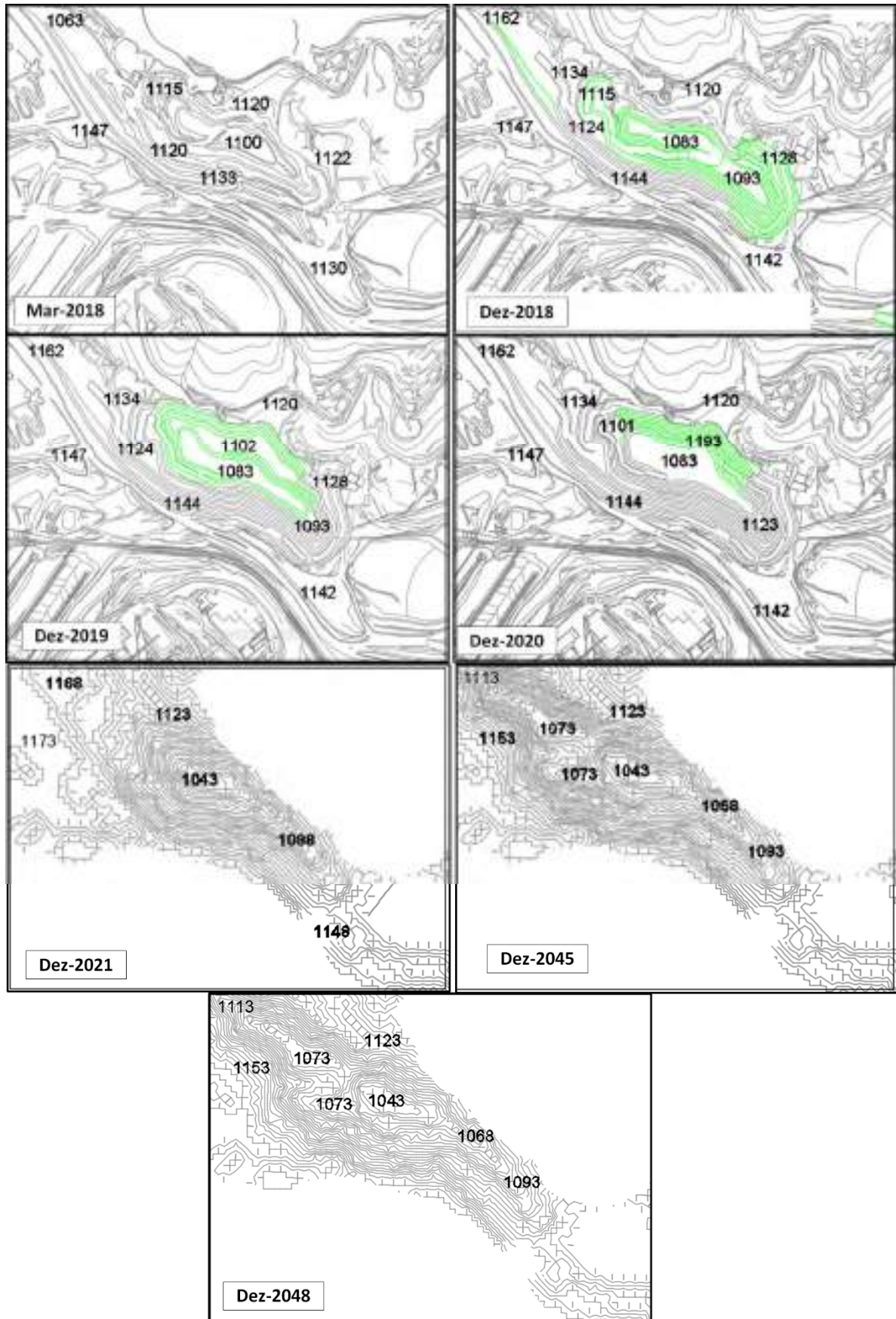


## ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA



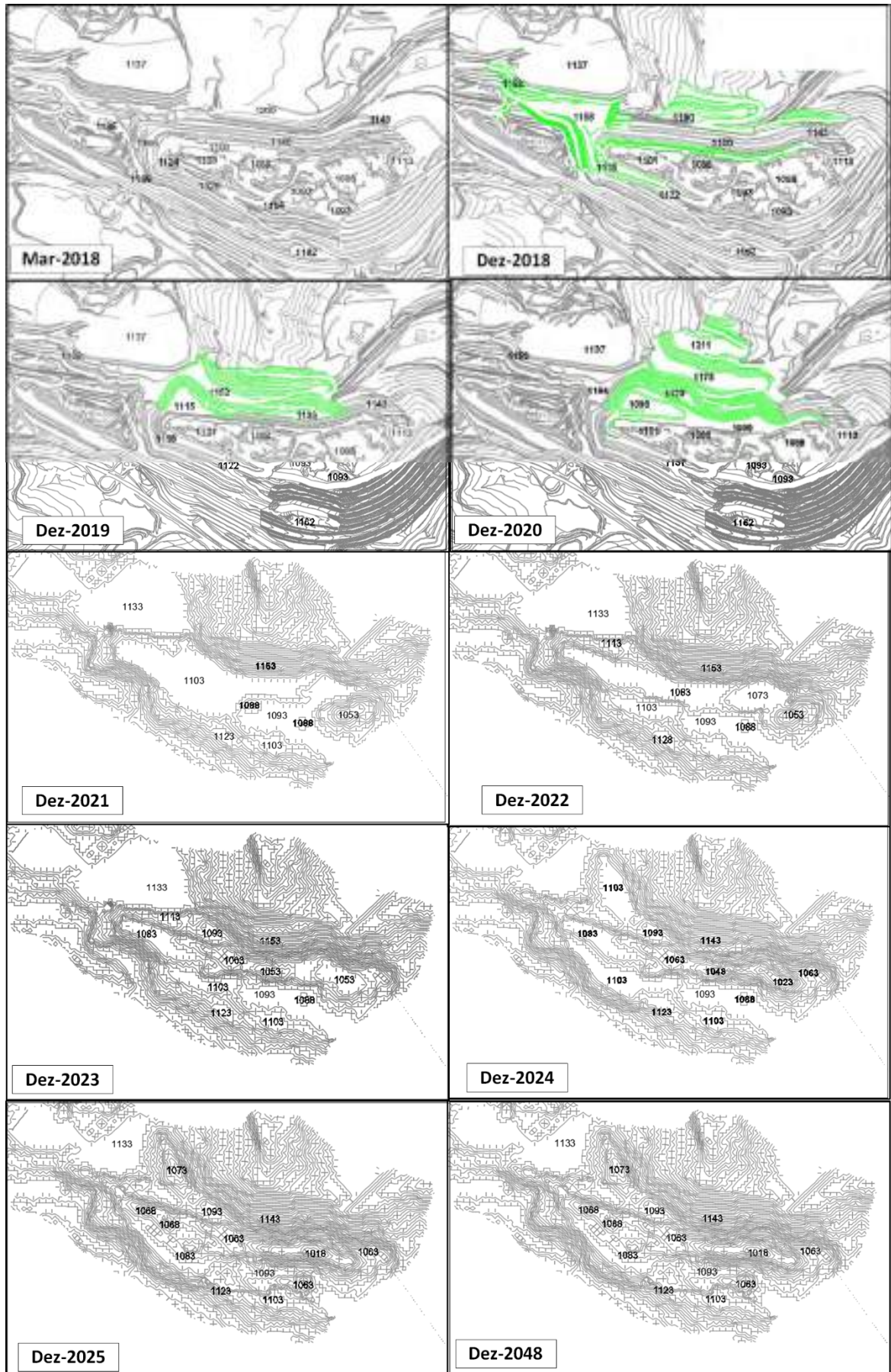
Evolução da lavra planejada para a Área 9 (entre 2018 e 2030 não há previsão de lavra nessa área).

## ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA



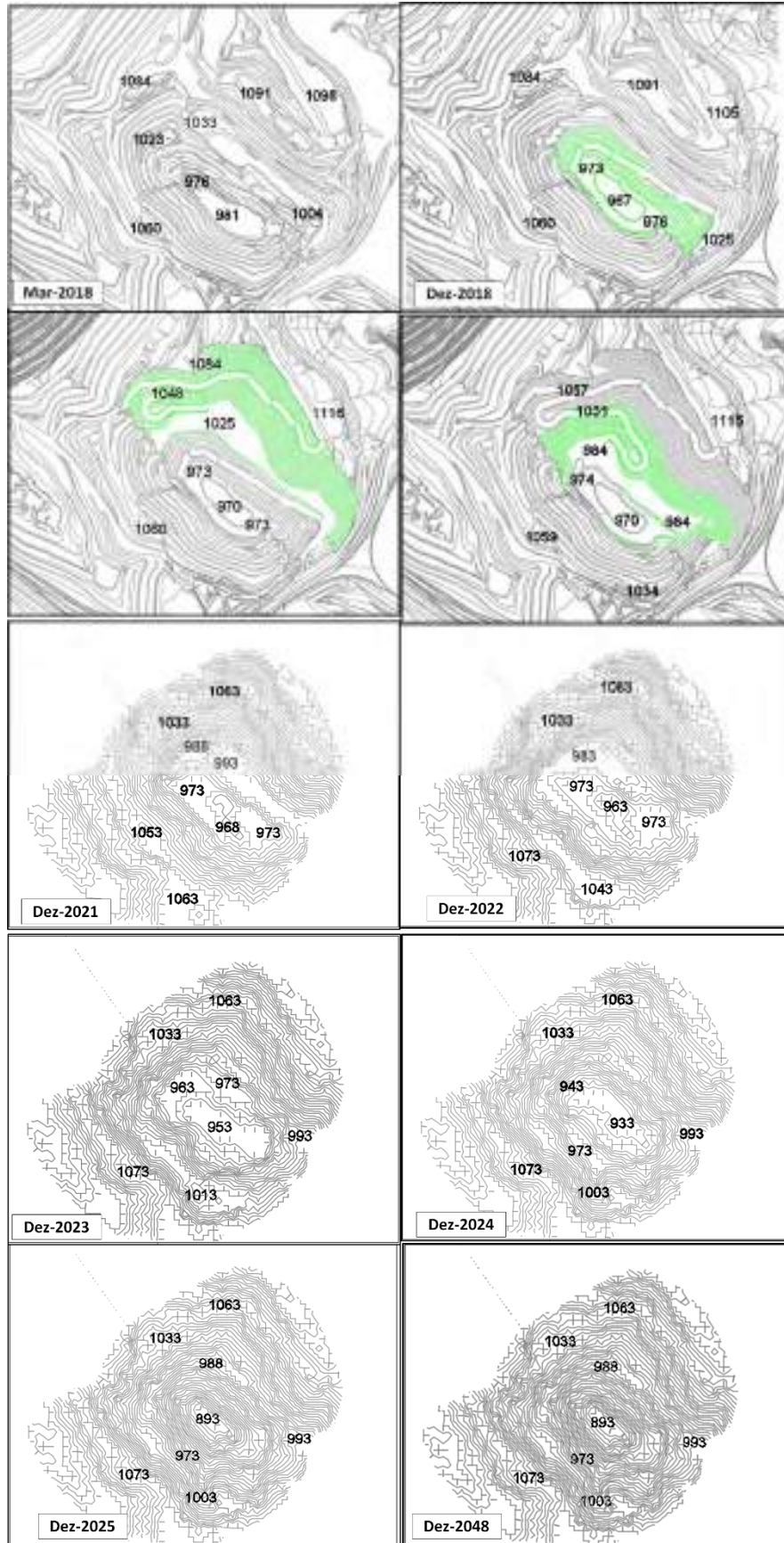
**Evolução da lavra planejada para a Área 9 ½ (entre 2022 e 2040 não há previsão de lavra nessa área).**

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA



**Evolução da lavra planejada para Segredo / Ponto 3 (após 2026 não há previsão de lavra nessa área).**

ATUALIZAÇÃO DE OUTORGA DE REBAIXAMENTO DE NÍVEL DE ÁGUA – MINA DE FÁBRICA



**Evolução da lavra planejada para o Ponto 2 (após 2026 não há previsão de lavra nessa área).**

