

Requerimento de outorga de direito de uso das águas

Nº Processo

Serra do Salitre-MG / 10/06/2016

Ilmo (a). Superintendente de Regularização Ambiental-SUPRAM/SEMAD

Site: www.igam.mg.gov.br

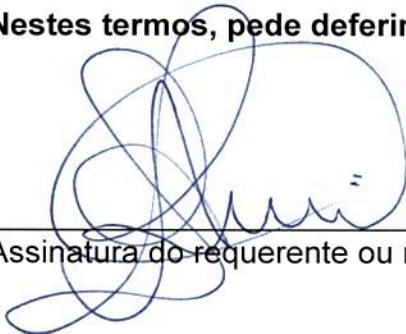
Site: www.semاد.mg.gov.br

Senhor (a) Superintendente,

Galvani Indústria, Comércio e Serviços S.A. CNPJ Nº **00.546.997/0013-13**, vem pelo presente requerer desse Instituto a **autorização**, para a execução de **captação de água subterrânea para fins de rebaixamento de nível em mineração**, no ponto de coordenadas geográficas **UTM 315.500 e 7.893.600** na **Fazenda Salitre** município de **Serra do Salitre-MG**.

Declara, ainda, conhecer a legislação federal e estadual vigente sobre recursos hídricos e meio ambiente, cujo descumprimento ensejará, além da perda do direito de uso eventualmente deferido, a aplicação das penalidades previstas na mesma legislação, em especial a Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, e sua regulamentação constante no Decreto nº 41.578, de 8 de março de 2001, bem como acarretará a aplicação das sanções previstas no Decreto nº 44.844, de 25 de junho de 2008 e suas alterações posteriores e na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998).

Nestes termos, pede deferimento.



Assinatura do requerente ou representante legal

Logradouro: **Rua Bonina, nº 769**
Complemento: _____ Bairro: **Centro**
Cep: **38.760-000** Caixa Postal: **08**
Cidade: **Serra do Salitre UF: MG**

Telefone: **(34) 3835-1063**
TeleFax : (____) _____ - _____
E-mail:
alcandido@galvani.ind.br

OUTORGA: 29/20/2016

DOC:0492830/2017



CLAM
ENGENHARIA
HIDROCNSE

RELATÓRIO TÉCNICO

**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA SUBSÍDIO AO PEDIDO DE
OUTORGA PARA REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NA
CAVA DO PROJETO SALITRE**

CL-HC-238-REL-002-0

MAIO / 2017

Elaborado para:

GALVANI INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS S/A



OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016

1 ÍNDICE

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------|------------|
| 1 | ÍNDICE | I |
| 2 | LISTA DE FIGURAS | III |
| 3 | LISTA DE TABELAS | V |
| 4 | APRESENTAÇÃO | 6 |
| 5 | ASPECTOS GERAIS | 7 |
| 5.1 | Localização | 8 |
| 5.2 | Caracterização do Empreendimento | 8 |
| 5.3 | Climatologia | 9 |
| 5.4 | Morfologia | 11 |
| 5.5 | Caracterização Hidrográfica | 13 |
| 5.6 | Geologia | 15 |
| 5.7 | Cava | 23 |
| 5.8 | Hidrogeologia | 25 |
| 5.8.1 | Inventário de nascentes | 26 |
| 5.8.2 | Rede de Monitoramento Hidrogeológico | 33 |
| 5.8.3 | Poço Tubular Profundo | 36 |
| 6 | MODELO HIDROGEOLÓGICO | 39 |
| 6.1 | Modelo Hidrogeológico Conceitual | 39 |
| 6.1.1 | Unidades Hidrogeológicas | 39 |
| 6.1.2 | Padrão de Escoamento Subsuperficial | 43 |
| 6.1.3 | Interferência com a lavra | 44 |
| 6.2 | Modelo Hidrogeológico Computacional | 44 |
| 6.2.1 | Premissas | 44 |
| 6.2.2 | Desenvolvimento do Modelo | 46 |
| 6.2.2.1 | Aplicativo Computacional | 46 |
| 6.2.2.2 | Consideração Temporal | 46 |
| 6.2.2.3 | Definição do Domínio de Cálculo | 47 |
| 6.2.2.4 | Definição da Malha de Cálculo | 48 |
| 6.2.2.5 | Implementação Espacial das Unidades Hidroestratigráficas | 50 |
| 6.2.2.6 | Definição e Implementação das Condições de Contorno | 53 |
| 6.2.3 | Calibração do Modelo | 53 |
| 6.2.4 | Resultados da Simulação Computacional | 56 |
| 6.2.4.1 | Níveis Freáticos e Dinâmica Subsuperficial | 56 |
| 6.2.4.2 | Vazões Oriundas do Sistema de Rebaixamento | 63 |
| 6.2.4.3 | Vazões dos Deflúvios Naturais | 64 |
| 6.2.4.4 | Interferências nas Nascentes | 68 |



| | | |
|-----------|-----------------------------------------------|-----------|
| 7 | PLANO DE USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA | 70 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 72 |
| 9 | REFERÊNCIAS..... | 73 |
| 10 | EQUIPE TÉCNICA..... | 74 |

Anexo I - Mapa Geológico Regional



2 LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5.1: Mapa de localização do empreendimento. | 8 |
| Figura 5.2: Plano Diretor do empreendimento e sua distribuição nas bacias hidrográficas. | 9 |
| Figura 5.3: Variação mensal da precipitação média mensal (em Serra do Salitre) e da evaporação potencial (Araxá). | 11 |
| Figura 5.4: Mapa altimétrico da área do Projeto Salitre | 12 |
| Figura 5.5: Foto mostrando o relevo típico da área da cava. | 12 |
| Figura 5.6: Mapa de bacias hidrográficas | 14 |
| Figura 5.7: Mapa da rede hidrográfica na área do Projeto Salitre (cava licenciada em magenta) | 15 |
| Figura 5.8: Geológico Regional da Área de estudo (extraído do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000) [Fonte: VOGBR, 2009]. | 16 |
| Figura 5.9: Afloramento de quartzito pertencente à formação Paranoá e que conforma o anel quartzítico. | 20 |
| Figura 5.10: Modelo de perfil de intemperismo do complexo do salitre (adaptado de Chaban et. al, 2004). | 22 |
| Figura 5.11: Sequenciamento das cavas anuais (Ano 01 a 03) e cava licenciada (Ano 19). | 24 |
| Figura 5.12: Localização das nascentes cadastradas e dos pontos de medição de vazão em córregos (Fonte: VOGBR, 2009). | 29 |
| Figura 5.13: Valores de pH medidos in situ durante o cadastro de nascentes (Fonte: VOGBR, 2009). | 31 |
| Figura 5.14: Valores de condutividade elétrica medidos in situ durante o cadastro de nascentes (Fonte: VOGBR, 2009). | 32 |
| Figura 5.15: Mapa de localização dos atuais dispositivos constituintes da rede de monitoramento hidrogeológico na área do Projeto. | 36 |
| Figura 6.1: Seção esquemática típica, representativa da área do Projeto Salitre. | 40 |
| Figura 6.2: Testemunhos de sondagem do furo P-14, mostrando o perfil litológico típico da área do projeto. | 42 |
| Figura 6.3: Mapa representando o limite do domínio utilizado para a modelagem computacional. | 47 |
| Figura 6.4: Malha de cálculo em planta. Células ativas são representadas em branco; as inativas, em verde. | 49 |
| Figura 6.5: Malha de cálculo em seções: a) S-N (315.150E); b) W-E (7.892.790N). Linha verde: topografia atual. Linha vermelha: cava final. | 50 |
| Figura 6.6: Distribuição de condutividade hidráulica nas células do modelo a) S-N (315.150E); b) W-E (7.892.740N). Linha vermelha: cava final. | 52 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 6.7: Curva de decréscimo da condutividade hidráulica com o aumento da profundidade. | 52 |
| Figura 6.8: Curva de calibração de níveis d'água no modelo computacional. | 54 |
| Figura 6.9: Variação sazonal anual da recarga na simulação transiente (Anos 01 a 03). | 55 |
| Figura 6.10: Mapas de elevação do lençol freático e do direcionamento do fluxo subsuperficial obtidos nas simulações. | 57 |
| Figura 6.11: Isolinhas de rebaixamento do lençol freático entre os Anos 1 e 03. | 58 |
| Figura 6.12: Isolinhas de rebaixamento do lençol freático no Ano 19. | 59 |
| Figura 6.13: Perfil de níveis piezométricos para os Anos 0, 3 e 19: S-N (315.150E); W-E (7.765.222N). Linha verde: superfície topográfica atual. Linha vermelha: cava final (19 anos). | 60 |
| Figura 6.14: Detalhe do perfil vertical das cargas piezométricas e do lençol freático (linha azul) (S-N 315.150E): a) Ano 0; b) Ano 03; c) Ano 19. Cava final é expressa pela linha vermelha. | 62 |
| Figura 6.15: Estimativa sazonal e anual máxima das vazões de água subterrânea para o sistema de desaguamento da cava. | 64 |
| Figura 6.16: Tela do software Visual MODFLOW mostrando a definição das zonas de balanço hídrico para cálculo das vazões nos deflúvios. | 65 |
| Figura 6.17: Mapa da posição relativa da cava em relação aos principais cursos d'água na área de interesse. | 66 |
| Figura 6.18: Estimativa das vazões do escoamento de base nos deflúvios. | 67 |
| Figura 6.19: Mapa mostrando as nascentes que serão afetadas pela lavra (círculos em magenta) e nascentes que não serão afetadas (círculos azuis), com base no rebaixamento do lençol freático previsto dos anos 03 e 19. | 69 |

3 LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 5.1: Normais Climatológicas Anuais da Estação Meteorológica de Araxá | 10 |
| Tabela 5.2: Coluna Estratigráfica da área de estudo (adaptada do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000) [Fonte: VOGBR, 2009] | 19 |
| Tabela 5.3: Nascentes cadastradas e parâmetros físico-químicos medidos in situ | 26 |
| Tabela 5.4: Dados e características das estações fluviométricas | 33 |
| Tabela 5.5: Dados e características dos vertedouros | 34 |
| Tabela 5.6: Dados e características dos dispositivos para medição de nível d'água | 35 |
| Tabela 5.7: Dados hidrodinâmicos dos testes de bombeamento e de recuperação no Poço 04 | 38 |
| Tabela 6.1: Valores e parâmetros resultantes da calibração do modelo em regime estacionário | 54 |
| Tabela 6.2: Valores de recarga utilizados na simulação transiente: taxas mensais (Anos 01 a 03). | 55 |
| Tabela 6.3: Valores anuais máximos previstos para o desaguamento de águas subterrâneas na cava | 64 |
| Tabela 10.1: Lista da equipe técnica responsável para desenvolvimento dos trabalhos | 74 |



4 APRESENTAÇÃO

A CLAM Engenharia Hidrocnese Ltda. (CLAM) foi contratada pela GALVANI INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS S/A para desenvolver estudos hidrogeológicos visando subsidiar o relatório de pedido de outorga de uso de água para rebaixamento de lençol freático na área da cava do Projeto Salitre, no município de Serra do Salitre, Minas Gerais. A elaboração do referido relatório será providenciada pela GALVANI ou por uma terceira empresa, contratada para tal finalidade.

Neste relatório são compiladas todas as informações que serviram de subsídio para o desenvolvimento de um modelo hidrogeológico computacional de simulação do rebaixamento do lençol freático, de acordo com o plano de lavra disponibilizado pela GALVANI.

No item 5, são apresentados as informações relativas aos aspectos físicos gerais da área de interesse para os estudos. No item 6, são apresentados os modelos hidrogeológicos conceitual e computacional, com o qual foi simulado o rebaixamento do nível freático na área da cava e do qual foram estimados os valores de vazão para realização do desaguamento subsuperficial. Outras informações pertinentes ao pedido de outorga, tais como expectativas dos níveis freáticos, estimativa de rebaixamento e avaliação dos impactos nos recursos hídricos do entorno também são apresentadas. Por fim, no item 7 é apresentado o Plano de Uso de Águas Subterrâneas. Todas essas informações, em conjunto com aquelas fornecidas para a definição do sistema de drenagem superficial da cava (CLAM, 2017), fornecem o arcabouço de estudos necessários para compor o pedido de outorga retromencionado junto à SUPRAM-MG.

A seguir, passa-se à descrição dos estudos elaborados.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016



PÁG:49

5 ASPECTOS GERAIS

Entre os anos de 2008 e 2010, a GALVANI deu seguimento a diversos estudos que tiveram como objetivo obter uma ampla caracterização hidrogeológica conceitual da área da cava do Projeto Salitre. Esses estudos, naquele momento, forneceram importantes informações que deram subsídio para a obtenção da Licença Prévia Ambiental do empreendimento. Entre os trabalhos realizados naquele período, citam-se as seguintes atividades:

- Levantamento e cadastro de nascentes e drenagens na área;
- Elaboração de Plano de Monitoramento de Águas Superficiais e Subterrâneas;
- Instalação de dispositivos de monitoramento de vazões (vertedouros);
- Instalação de medidores de nível d'água subterrânea e de poços de monitoramento;
- Perfuração e testes de bombeamento em poço tubular profundo;
- Campanhas de monitoramento de vazão e de qualidade de água superficial e subterrânea.

Obviamente, uma grande quantidade de dados foi gerada, estando todos os dados resultantes desses trabalhos devidamente descritos em diversos relatórios, os quais são citados no item 9 (Referências). Para facilitar a compreensão do modelo de rebaixamento de lençol aqui elaborado, essas informações foram trazidas para este relatório na medida do estritamente necessário; ou seja, não se pretendeu aqui fazer nova apresentação compreensiva (e exaustiva) de todos os dados hidrogeológicos levantamentos até o momento. Os dados completos podem ser obtidos dos relatórios citados sempre que se julgar necessário.

A seguir, passa-se à descrição dos principais elementos físicos que compõem o contexto hidrogeológico no qual está inserida a cava do Projeto Salitre.

OUTORGA: 24720/2016

DOC:0823789/2016



PÁG. 50

5.1 LOCALIZAÇÃO

O Projeto Salitre, de propriedade da Galvani Indústria, Comércio e Serviços S/A, localiza-se no município de Serra do Salitre – MG, ao norte da sede municipal, a aproximadamente 10 km de distância. A área do empreendimento localiza-se a uma distância aproximada de 400 km em relação a Belo Horizonte (Figura 5.1). O acesso rodoviário partindo de Belo Horizonte, é realizado pela rodovia federal BR-262 em direção ao Triângulo Mineiro e posteriormente a rodovia estadual MG-230, que dá acesso às sedes dos municípios de Serra do Salitre e Patrocínio.

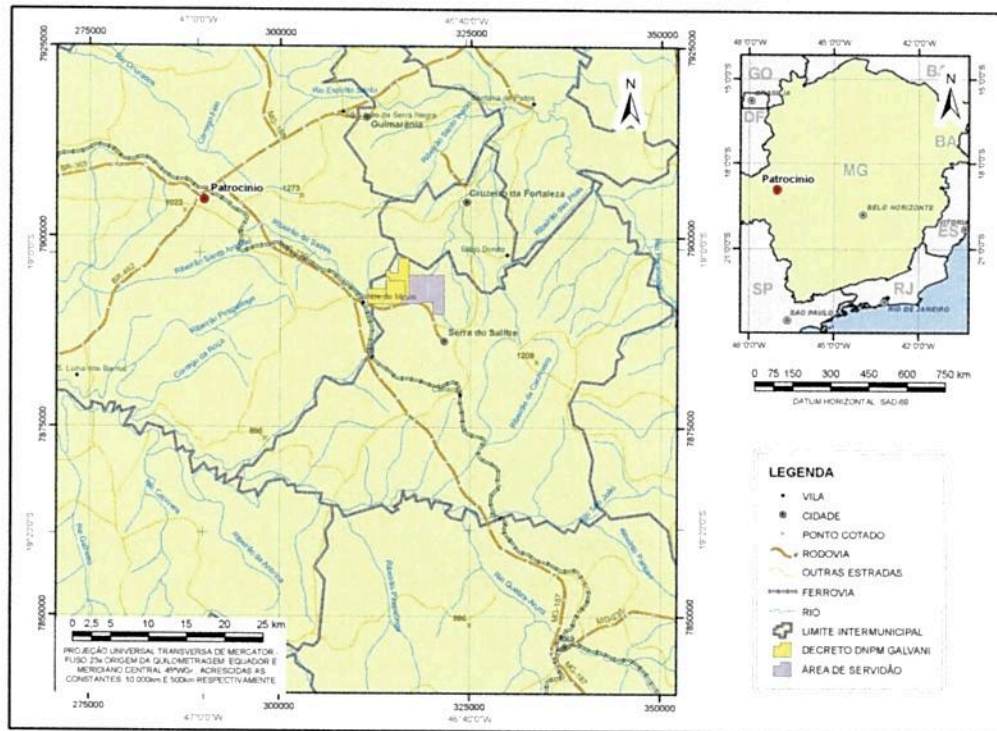


Figura 5.1: Mapa de localização do empreendimento.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O objetivo do empreendimento é a produção de concentrado de fosfato, que será obtido por meio de lavra da rocha fosfática, em cava a céu aberto, e seu posterior beneficiamento, em usina localizada na área do empreendimento.

O estéril gerado no processo de lavra será disposto em uma pilha, localizada a leste da cava. O rejeito proveniente do processo de beneficiamento do minério será disposto no reservatório da

barragem de rejeitos, local onde também se pretende realizar tanto a recirculação quanto a captação de água nova para suprir a demanda do empreendimento.

A região onde se pretende desenvolver a atividade mineral está localizada nos alvos minerários denominados Salitre 1 e Salitre 4. A área situada a leste das jazidas corresponde à área de servidão do empreendimento, onde serão implantadas a barragem de rejeitos, pilha de estéril e a planta industrial. Na Figura 5.2 é apresentado o Plano Diretor do empreendimento e a distribuição das estruturas nas bacias hidrográficas.

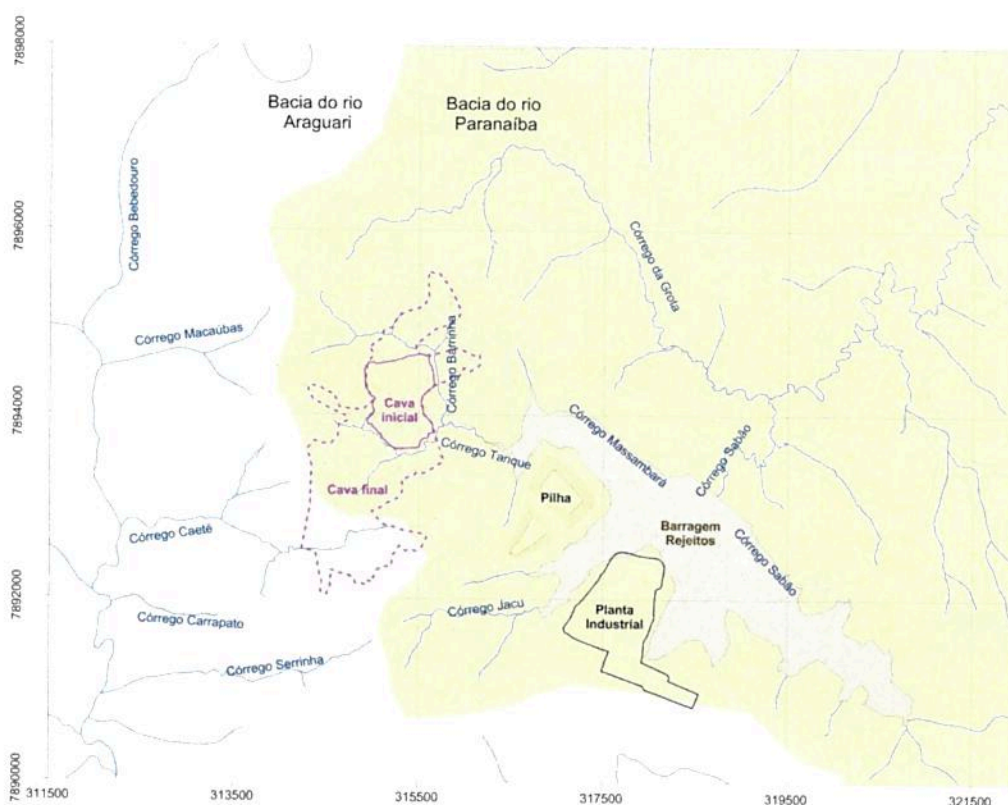


Figura 5.2: Plano Diretor do empreendimento e sua distribuição nas bacias hidrográficas.

5.3 CLIMATOLOGIA

A caracterização climatológica da área do empreendimento foi realizada utilizando os registros da estação meteorológica de Araxá, operada pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – e considerada representativa para a região. Os dados utilizados corresponderam às normais mensais de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e evaporação, no período de 1971 a 1990. Na Tabela 2.1 estão sintetizados os valores das normais anuais da referida estação.



Tabela 5.1: Normais Climatológicas Anuais da Estação Meteorológica de Araxá

| Estação Meteorológica | Araxá |
|----------------------------------|-----------|
| Período de cobertura de dados | 1971/1990 |
| Pressão Atmosférica Anual (mbar) | 901,1 |
| Temperatura Média Anual (°C) | 20,4 |
| Temperatura Máxima Anual (°C) | 26,5 |
| Temperatura Mínima Anual (°C) | 15,7 |
| Temperatura Máxima Absoluta (°C) | 35,6 |
| Temperatura Mínima Absoluta (°C) | 0,5 |
| Umidade Relativa (%) | 77,2 |
| Evaporação (mm) | 1.566 |

A temperatura média mensal situa-se entre 17,5 °C e 22,2 °C com uma amplitude térmica de 4,7 °C. De acordo com a classificação de Koppen (Nimer, 1979), o clima da região pode ser classificado como do tipo Mesotérmico Brando Semi-Úmido, com 4 a 5 meses de seca no ano. Este clima se caracteriza por possuir temperaturas amenas durante todo o ano (a média mensal varia em torno de 20°C).

Pode-se dizer que o clima possui um verão brando e que em seu mês mais quente (fevereiro), acusa temperaturas médias de aproximadamente 28°C. A média das temperaturas máximas no trimestre mais quente oscila no entorno de 28°C, com máximo absoluto da aproximadamente 36°C. Nos meses mais frios (junho, julho e agosto), a temperatura mínima apresenta média em torno de 13,1°C, podendo, durante o período da madrugada, atingir valores absolutos da ordem de 0,5°C.

A caracterização do regime pluviométrico foi realizada utilizando os dados da estação Salitre, localizada no município de Serra do Salitre. Com relação ao regime pluviométrico, pode-se dizer que a região apresenta duas estações distintas e bem definidas, sendo que a estação chuvosa se estende de outubro a março e a estação seca de abril a setembro, conforme pode ser visto na Figura 5.3. A precipitação média anual na região é da ordem de 1.500 mm, sendo o trimestre compreendido entre novembro e janeiro responsável por aproximadamente 51% da chuva total anual. Os meses de junho, julho e agosto são os meses de menor pluviosidade e chegam a registrar valores mensais de precipitação da ordem de 12 mm. A marcha sazonal das chuvas caracteriza o regime tropical, sendo os máximos pluviométricos no verão e os mínimos no inverno.

OUTORGA: 24720/2016

DOC:0823789/2016



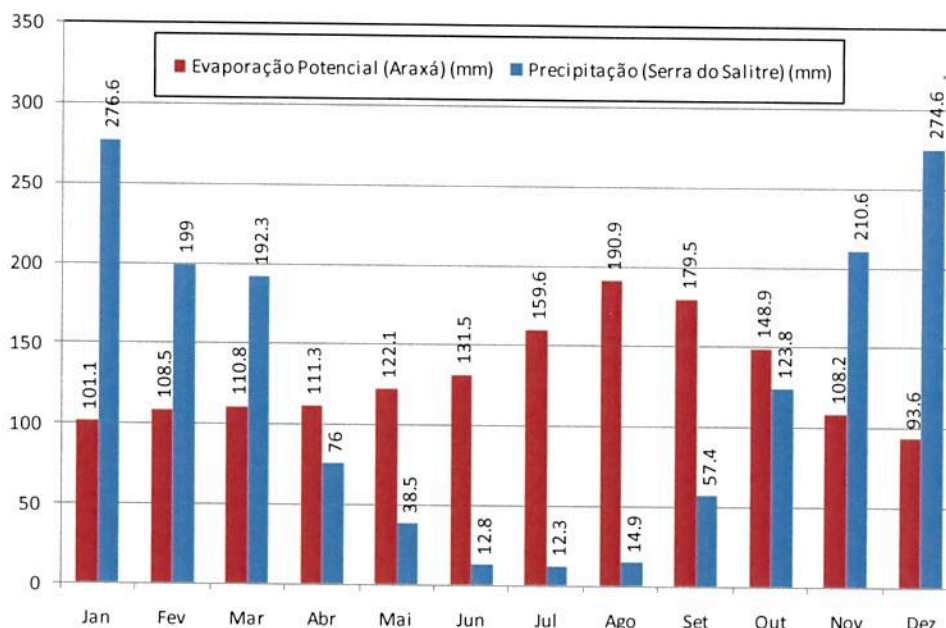


Figura 5.3: Variação mensal da precipitação média mensal (em Serra do Salitre) e da evaporação potencial (Araxá).

A evaporação potencial média anual verificada na estação climatológica de Araxá é da ordem de 1.560 mm (Figura 5.3), sendo a maior taxa registrada no mês de agosto (190,9 mm) e a menor taxa observada no mês de dezembro (93,6 mm).

A média anual de umidade relativa do ar na região é de aproximadamente 77%, sendo que mesmo nos meses mais frios não atingem valores de umidade relativa inferior a 67%.

5.4 MORFOLOGIA

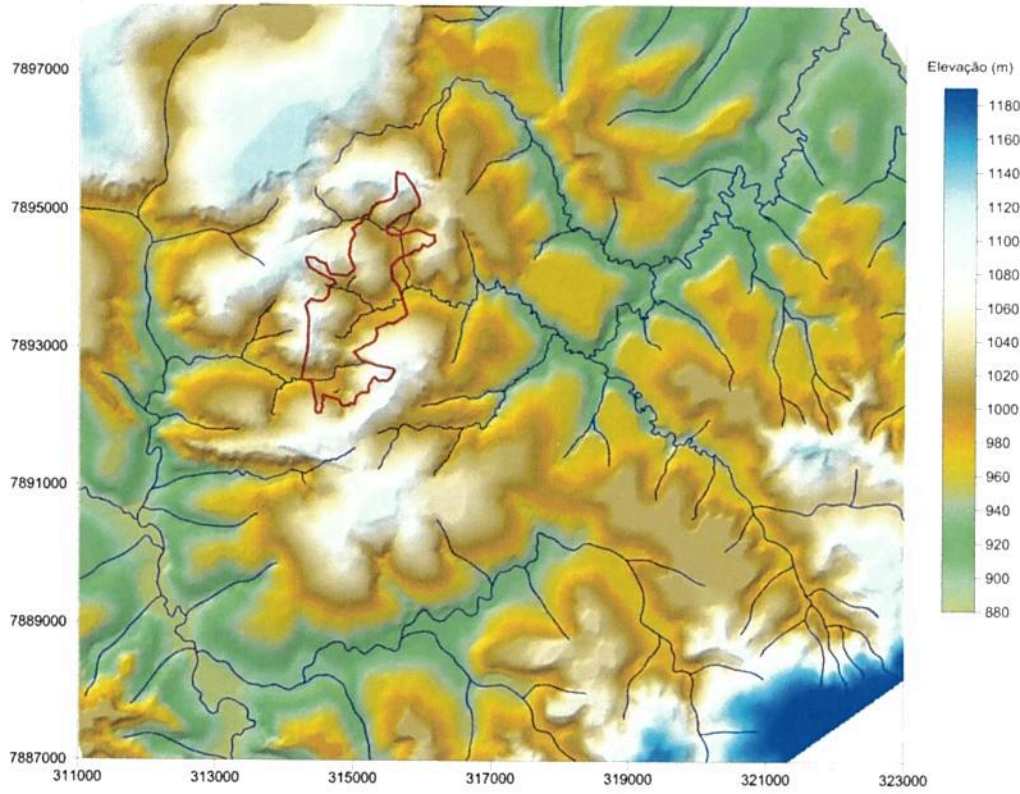
De maneira regional, a área do projeto é caracterizada pela variabilidade do relevo, produto, principalmente: das intrusões magmáticas que geraram relevos elevados de forma convexa, dos agentes intempéricos, que modelaram a superfície gerando áreas de relevo suave; e, finalmente, de deposições produzidas em períodos recentes gerando regiões de planície aluvionar.

Localmente, no domínio de interesse do Projeto Salitre, o relevo encontra-se marcadamente diferenciado pelas seguintes unidades morfológicas, descritas a seguir.

O Domo do Salitre, caracterizado por uma área circular com topo extenso aplainado, com cotas variando entre 900 e 1.100 metros (Figura 5.4). É dentro dessa área que se encontra a maior parte da jazida de fosfato. Essa área é caracterizada por colinas suavemente onduladas e morros



arredondados separados por vales abertos pouco profundos. Os topos apresentam-se suaves e bem esculpidos, com vertentes convexas, também suaves, com declividade considerável.



Legenda:



Borda da cava licenciada



Cursos d'água

Figura 5.4: Mapa altimétrico da área do Projeto Salitre

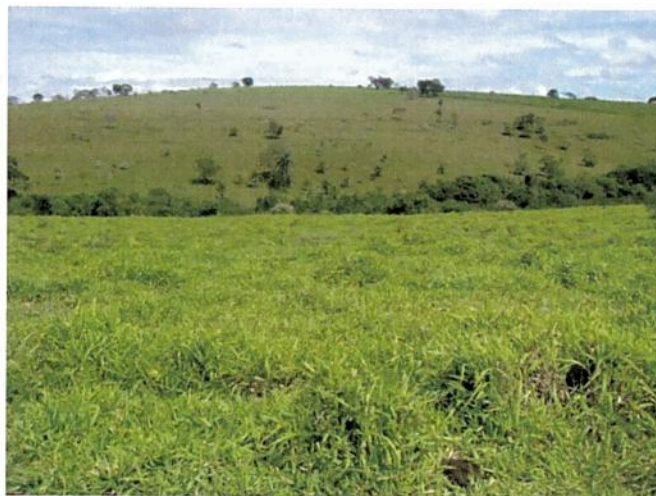


Figura 5.5: Foto mostrando o relevo típico da área da cava.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016

PÁG:55

O anel quartzítico que envolve o Domo do Salitre apresenta elevações que variam entre 1.000 e 1.100 metros, caracterizando-se por vertentes pronunciadas devido, principalmente, ao alto ângulo de mergulho que caracteriza os quartzitos perto do domo, e pela alta resistência ao intemperismo das rochas que conformam esta geoforma (Figura 5.5). O anel, entretanto, não é contínuo, sendo cortado, a sul, pelo córrego Bebedouro (afluente do ribeirão Salitre) e, a leste, pelo córrego do Tanque (afluente do córrego do Sabão). Aproximadamente ao longo de sua extensão entre NW e NE, o anel teve sua borda erodida.

O relevo ao redor do Domo do Salitre é constituído também por um relevo mamelonar de morros mais ou menos arredondados com ladeiras suaves, similar ao do domo, mas modelado em rochas sedimentares.

A cobertura vegetal natural na área do projeto já foi amplamente suprimida, dando lugar a pastagens e plantações sazonais.

5.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA

O Projeto Salitre está localizado em uma área que compreende o divisor de drenagem das bacias dos rios Paranaíba e Araguari. A maior parte das estruturas, incluindo parte da cava, a pilha de estéril prevista, a barragem de rejeitos e as instalações industriais, estão localizadas na sub-bacia do córrego Sabão, que pertence à rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Parte da cava está localizada na bacia do ribeirão Salitre, que por sua vez é afluente do rio Quebra Anzol, pertencente à Bacia do rio Araguari.

Na Figura 5.6 é apresentado o mapa de bacias com a localização do empreendimento.

OUTORGA 24720/2016

DOC:0823789/2016



PÁG: 56

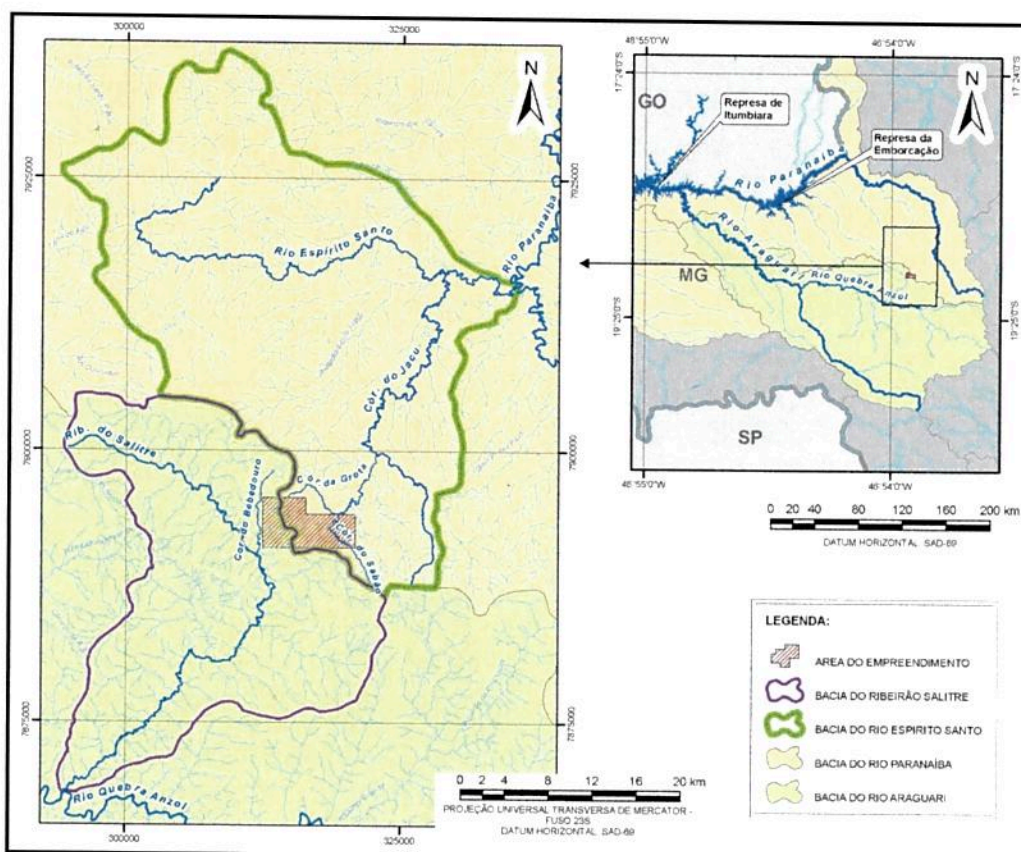


Figura 5.6: Mapa de bacias hidrográficas

Localmente, a rede hidrográfica é formada por córregos de pequeno porte que se formam a partir das diversas nascentes que ocorrem na região, conforme mostrado na Figura 5.7. Essas drenagens têm regime perene e apresentam variações significativas nas suas vazões, decorrentes da sazonalidade do regime pluviométrico na região.

A maior parte da área do Domo do Salitre é drenada pelo córrego Bebedouro, que inicia seu curso na porção N do domo (Figura 5.7), seguindo em direção S até desaguar no ribeirão Salitre, já fora da área circunscrita ao domo. Parte das nascentes que ocorrem na área da cava drenam no sentido E-W formando os córregos Macaúbas e do Caeté, que por sua vez são afluentes do córrego Bebedouro (Figura 5.7). O ribeirão Salitre é afluente do rio Quebra Anzol, pertencente à Bacia do Araguari.

A outra parte das nascentes que ocorrem na área da cava (no seu quadrante NE) é drenada no sentido W-E, formando os córregos Barrinha e do Tanque. Esses, por sua vez, se juntam para formar o córrego Massambará que, mais a jusante, recebe as águas do córrego do Jacu e deságua no



córrego do Sabão (Figura 5.7). O córrego do Sabão faz parte da sub-bacia do rio Espírito Santo, que por sua vez, faz parte da Bacia do rio Paranaíba (Figura 5.6).

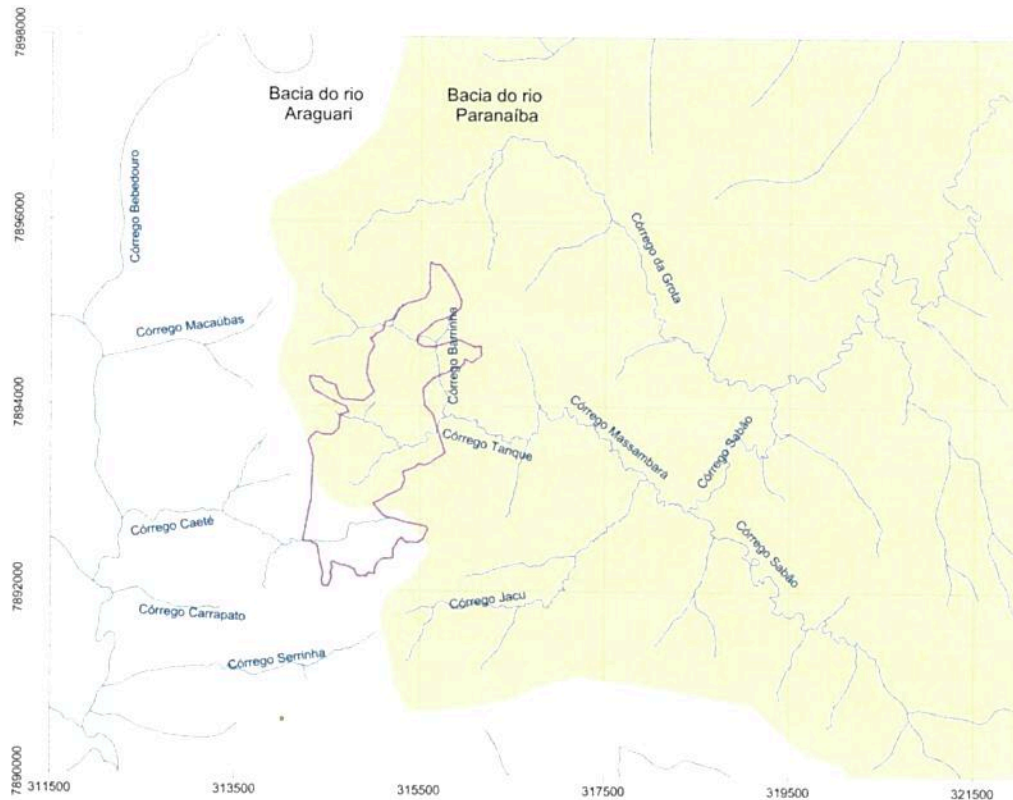


Figura 5.7: Mapa da rede hidrográfica na área do Projeto Salitre (cava licenciada em magenta)

5.6 GEOLOGIA

5.6.1 Geologia Regional

A área em estudo forma parte da Província Alcalina do Alto Paranaíba (PAAP), localizada principalmente nos estados de Minas Gerais e Goiás e é representada por diatremas, vents, derrames, depósitos piroclásticos e complexos plutônicos¹ (Herz 1977; Almeida 1986; Leonardo et al. 1991; Almeida & Svisero 1991; Gibson et al. 1995a, Brod et al. 2000, 2004, Carlson et al., 2007).

¹ A descrição geológica aqui apresentada é a mesma daquela reproduzida no relatório 4GALV001-1-HG-RTE-0001(VOGBR, 2009). Todas as informações das referências aqui citadas podem ser encontradas no referido relatório.

A Província estabeleceu-se durante o Neocretáceo, ao longo de uma estrutura alongada segundo NW-SE, denominada Arco do Alto Paranaíba. O surgimento deste arco separou as bacias do Paraná e do São Francisco (Dardenne et. al, 2001).

Segundo Gibson (1995 - in VOGBR, 2009), esta província teve como origem a ascensão da pluma mantélica de Trindade, a qual estaria relacionada também ao derrame basáltico da bacia do Paraná, assim como todas aquelas províncias alcalinas que a circundam. Outros autores sugerem que os magmas da PAAP tiveram como fonte a mesma pluma associada ao hot spot de Tristão da Cunha.

A PAAP é composta por grandes volumes de kamafugitos (Grupo Mata da Corda e inúmeros corpos sub-vulcânicos), kimberlitos subordinados, raros lamproítos e diversos complexos plutônicos alcalino-carbonatíticos compostos por sete estruturas dômicas intrusivas, assim denominadas: Araxá, Tapira, Salitre I, Salitre II, Serra Negra, Catalão I e Catalão II. Esses complexos estão encaixados em seqüências meta-sedimentares pré-cambrianas dos grupos Araxá, Canastra e Bambuí (Brazpoços, 2002).

A PAAP abriga importantes depósitos minerais associados às intrusões, principalmente as carbonatíticas, de onde são extraídos os minérios de fosfato e nióbio, principalmente. Minério de titânio e terras raras são encontrados, associados às intrusões de filiação carbonatítica.

As rochas que ocorrem, em âmbito regional (Figura 5.8), na área estudada, são classificadas como constituintes das seguintes unidades litológicas:

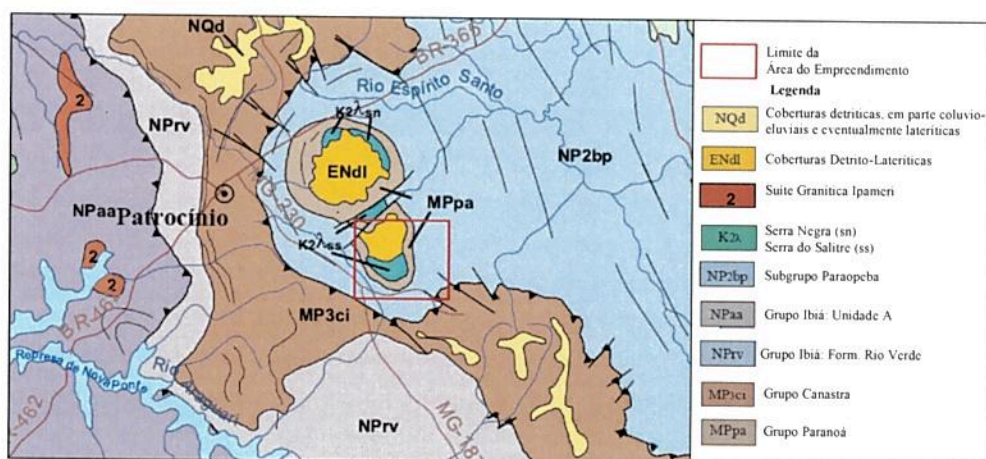


Figura 5.8: Geológico Regional da Área de estudo (extraído do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000) [Fonte: VOGBR, 2009].

Grupo Paranoá

A Formação Paranoá seria a mais antiga e consiste, predominantemente, de quartzitos e filitos. As rochas formadoras das auréolas das chaminés, tanto de Serra Negra quanto de Salitre, seriam pertencentes a esta formação.



Grupo Canastra

O grupo Canastra representa parte de uma bacia de margem passiva. Aflora em uma faixa de mais de 650 km desde o sudoeste de Minas Gerais até o sudeste de Goiás e sul do Distrito Federal. Encontra-se em contato tectônico com o grupo Araxá e Ibera, sendo difícil a reconstituição das relações de contato originais com estes grupos.

Freitas-Silva & Dardenne (1994) apresentam uma definição mais atualizada do Grupo Canastra, subdividindo-a em três formações: A unidade Basal é a Formação Serra do Landim, composta por calci-filitos e calci-xistos; a Formação Paracatu, unidade intermediária do Grupo Canastra. Apresentam deformação significativa, com formação de sigmoides de quartzo, onde se alojam pequenas concentrações de ouro. Intercalações de quartzito e carbonatos são comuns nesta unidade (Freitas-silva & Dardenne, 1994). A Formação Chapada dos Pilões é composta por quartzitos e filitos, na porção basal e quartzitos no topo.

Grupo Ibiá

Seqüência glaciogênica, compostas por duas formações principais: Cubatão e Rio verde. A primeira é um pacote de diamictitos que forma a base do grupo; é interpretada como uma unidade sedimentada em ambiente sub-glacial e que tem como embasamento os sedimentos do Grupo Canastra. A Formação Rio Verde é composta por filitos carbonáticos.

O Grupo Ibiá aparece como uma faixa estreita que “corta” o município de Patrocínio na sua porção central de norte a sul, sendo que ao sul ela se direciona para o sudeste.

Grupo Araxá

O Grupo Araxá é definido por Seer (1999) como uma seqüência ígnea máfica recoberta por sedimento pelíticos, sendo constituída principalmente por granitos, sienitos peraluminicos, anfíbolitos e granada-mica xistos e granada quartzitos.

É representado por anfíbolitos, xistos e quartzitos. Está tectonicamente alocado sobre o Grupo Ibiá e é recoberto pelos arenitos da Formação Botucatu, da Bacia do Paraná.

O Grupo Araxá ocupa a porção oeste do município de Patrocínio, e suas rochas, quando expostas, são predominantemente micaxistos.

Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí constitui a principal unidade litoestratigráfica neoproterozóica no Cráton do São Francisco, pela sua grande extensão e pelas características relativamente constantes dos seus sedimentos. A litoestratigrafia original foi levantada por Branco & Costa (1961) e ligeiramente modificada por Dardenne (1978). Este grupo estende-se para o domínio geotectônico da Faixa Brasília onde se apresenta deformado e metamorfizado, com intensidades crescentes no sentido



oeste. No Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais (escala 1:1.000.000), à exceção da Formação Três Marias, as demais formações do grupo foram englobadas no Subgrupo Paraopeba, conforme definição modificada a partir de Inda et al. (1984).

O Subgrupo Paraopeba representa a sucessão pelito-carbonatada, depositada em plataforma carbonática isolada, após a Glaciação Jequitai. Neste trabalho o Subgrupo Paraopeba foi classificado como Formação Paraopeba e consiste de folhelhos sílticos, folhelhos, siltitos, margas, verdetes (pelitos verdes) e argilitos, além de sucessões carbonatadas.

Vulcanismo Alcalino Cretácico

O magmatismo cretáceo, associado à tectônica extensional da Reativação Sul-Atlantiana, originou o surgimento da Província Alcalina do Alto Paranaíba, caracterizada por manifestações magmáticas do período Cretáceo (Barbosa et al., 1970, Leonardo & Meyer, 1991; Tallarico, 1993), quando o surgimento de um arco separou as bacias do Paraná e do São Francisco (Campos & Dardenne, 1997). A PAAP é composta por (a) inúmeros pequenos corpos sub-vulcânicos de kamafugitos e kimberlitos, com raros lamproitos, (b) grandes complexos plutônicos alcalino-carbonatítico-foscoríticos como os de Catalão, Serra Negra, Salitre, Araxá e Tapira, e (c) volumoso conjunto de derrames e depósitos piroclásticos kamafugíticos do Grupo Mata da Corda. (Almeida et al.)

A diversidade litológica da província é atribuída a fatores como fusão parcial de fontes mantélicas metassomatizadas, com variados graus de enriquecimento em elementos incompatíveis, diferentes profundidades de fusão e processos de cristalização fracionada.

Coberturas Cenozóicas

As coberturas detríticas cenozóicas de idade indiscriminada, encontradas sobre superfícies de aplainamento correspondentes à Superfície Sul-Americana, tratam-se de eluviões e coluviões, eventualmente associados a sedimentos aluvionares de canais suspensos, que se apresentam em graus variados de laterização. Couraças ferruginosas localizadas denunciam sítios intensamente lateritizados, que protegem as superfícies de aplainamento da erosão atual.

Na Tabela 2.2 é apresentada a coluna estratigráfica da área de estudo.

OUTORGA 24720/2016

DOC:0823789/2016



PAG 81

Tabela 5.2: Coluna Estratigráfica da área de estudo (adaptada do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000) [Fonte: VOGBR, 2009]

| Era | Período | Grupo | Subgrupo | Formação | Litologia | Idade (Ma) | |
|------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PALEOZOÍCO | NEOGENO | | | | Coberturas detriticas em parte coluvio-eluviais e eventualmente lateriticas | 1,75 | |
| | PALEOGENO | | | | Coberturas detrito-lateriticas | 23,5 | |
| MESOZOÍCO | CRETÁCEO | Provincia alcalina do Alto Paranaíba | | Araxá, Tapira, Poços de Caldas, Serra Negra, Serra do Salitre | Complexos plutônicos alcalinos – carbonatiticos - foscoriticos | 70 – 100 | |
| NEOPROTEROZOÍCO | NEOPROTEROZOÍCO III | Bambu | Parapoeba | Três Marias | Arcósias, pelitas | | |
| | | | | Serra da Saudade | Siltitos e argilitos verdes | | |
| | Lagoa do Jacaré | | | calcários, siltitos, margas | | | |
| | Serra de Santa Helena | | | Folhelho, siltitos, margas | | | |
| | Sete Lagoas | | | Calcário, dolomito, metapelito | | | |
| | | | Samburá | Paraconglomerado Samburá / diamictito Carrancas | | | |
| | CRYOGENIANO | | Araxá | | Unidade B | Muscovita-biotita-clorita-quartzo xisto, granada-muscovita-clorita xisto, quartzito com hematita xisto, hematita-sericita xisto e lentes de anfibolito | 630 |
| | | | | | Unidade A | Calciclorita xisto, calciclorita-biotita xisto feldespático, às vezes granadífero, hornblenda-granada xisto feldespático, grafita xisto, quartzito, lentes de metacalcário, anfibólio e talco xisto; anfibolito; quartzito/ xisto, xistos | 630 |
| | | | Ibiá | | Rio Verde | Filito, quartzito, calcixisto, clorita xisto, sericita xisto; | 850 |
| | | | | | Cubatão | Metadiamictito e quartzito | 850 |
| MESOPROTEROZOÍCO | STENIANO | Canastra | | Formações Chapada dos Pilões e Paracatu | Indiviso:metarenito, xisto grafitoso, sericita xisto, quartzo-muscovita xisto, filito, metargilito, metamarga, metacalcário, ardósia; Formação Chapada dos Pilões: filito carbonoso, quartzito micáceo; Formação Paracatu: filito carbonoso, metasiltito | 1.000 | |
| | | Paranoá | | Paranoá | Quartzito, metapelito, metaconglomerado, calcário, dolomito | 1.200 | |

5.6.2 Geologia Local

A região em questão abrange a parte sudeste do Complexo do Salitre, onde as rochas vulcânicas ocupam a porção centro-norte e as encaixantes a porção sul da área de estudo. O domo de Salitre constitui uma estrutura alongada e curva em forma de rim, intrusivo em rochas do Grupo Bambuí,

sendo este último o anel da estrutura dômica. No Desenho 4GALV001-1-HG-DWG-0003 (Anexo I), apresenta-se o mapa geológico com as unidades estratigráficas encontradas na área da jazida.

As rochas mais antigas da região são a do Grupo Canastra, que aparecem nas porções sul e oeste da área. São predominantemente quartzitos e filitos muito dobrados e com pobre ou localizado sistema de fraturamento.

A Formação Paranoá, presente na área, está constituída predominantemente de quartzitos e filitos que se orientam de modo concêntrico ao redor do maciço intrusivo. Disposição esta que originou um domo.

A Formação Paraopeba (Grupo Bambuí), que é estratigraficamente superior a Paranoá, é constituída predominantemente por ardósias e siltitos.

O Complexo do Salitre compreende três intrusões interligadas por diques traquíticos: Salitre I, que contém sienitos, bebedouritos e um plug de carbonatitos; Salitre II, onde predominam bebedouritos com e sem olivina; e Salitre III, conformado por piroxenitos e um plug de foscoritos (Silva, 2006).

A intrusão do magma na sua ascensão pela crosta superior “levantou” o pacote de meta-sedimentos das formações Paraopeba e Paranoá. Apenas os quartzitos refundidos e fenitizados da formação Paranoá resistiram ao intemperismo e foram preservados na sua posição pós-intrusiva, constituindo a auréola da chaminé de Serra Negra e de Salitre. Na Figura 5.9 mostra-se a foto de um afloramento que forma parte do anel quartzítico.



Figura 5.9: Afloramento de quartzito pertencente à formação Paranoá e que conforma o anel quartzítico.

Produto da decomposição das rochas alcalinas, na área da jazida ocorre um espesso manto de intemperismo cujos níveis superiores, no caso do Complexo do Salitre, foram desnudado pelos agentes erosivos. A formação deste manto de intemperismo está ligada ao intemperismo químico atuante sobre as rochas do complexo, à peneplanização ocorrida a partir do terciário, ao clima tropical quente e úmido e ao tempo de exposição dos maciços aos agentes intempéricos.

Oliveira & Imbernon (1998) têm desenvolvido modelos de perfil de intemperismo para as jazidas produzidas a partir das intrusões alcalinas carbonatíticas do PAAP, posteriormente Chaban (2004) elaborou um perfil de intemperismo típico para o Complexo do Salitre, o qual se encontra conformado pelos seguintes horizontes (conforme esquematizado na Figura 2.9):

- Rocha fresca conformado pelos carbonatitos e as rochas alcalinas associadas (piroxenitos, peridotitos, bebedouritos);
- Rocha semi-alterada, onde as estruturas do protolito são preservadas, apresenta uma coloração verde ou cinza com mineralizações eventuais;
- Saprolito Isalterítico, horizonte de espessura variável, onde a estrutura da rocha pré-existente é preservada. Apresenta uma coloração marrom a ocre, é neste horizonte aonde se apresentam as maiores concentrações de minério;
- Saprolito Aloterítico, produto de processos de intemperismo mais avançados, onde as estruturas originais não podem ser identificadas, de cor amarelo claro a ocre.
- Solo de cobertura, constituído por material transportado, solo orgânico e às vezes laterítico, de cor marrom e marrom avermelhado.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016

PAG:64

| Intemperismo | Descrição | Características |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Solo | Cobertura | |
| Piroxênito/ Peridotito Amarelo Forte | Saprolítico Aloterítico | Sem estruturas Cor amarelo claro a ocre CaO<1%; Mg<1%; RCP<1% Presença de fosfatos secundários (Vavelita, erandalita, ausência de apatita) |
| Piroxênito/Peridotito Verde Forte | Saprolítico Isalterítico | Estruturas reconhecíveis. Cor marrom a ocre. CaO>1%; MgO<5-6% Mineralizações. |
| Piroxênito/Peridotito Forte | Rocha Semi- Alterada | Estruturas preservadas. Cor verde ou Cinza. Mg>6% Eventuais mineralizações. |
| Sem | Rocha Fresca | |

Figura 5.10: Modelo de perfil de intemperismo do complexo do salitre (adaptado de Chaban et. al, 2004).

Uma característica particular do domo do Salitre é que nele não se apresenta capeamento de canga como acontece no domo da Serra Negra. Como consequência, o seu relevo interno ao anel de quartzo é levemente montanhoso e irregular.

As jazidas de fosfato desta região estão intimamente relacionadas às intrusões alcalinas, principalmente as carbonatíticas, onde, além de fosfatos, são extraídos minérios de nióbio, de titânio e terras raras.

O intemperismo foi o principal processo de formação das jazidas minerais dos domos de Salitre e Serra Negra, além de outros como de Tapira, Barreiro e Catalão. O manto de intemperismo formou-se por lixiviação e concentração dos elementos mais solúveis que acompanham os dunitos, mica peridotitos e carbonatitos.

A intensiva ação do intemperismo atuando sobre as rochas ultrabásicas com concentrações anômalas de perovskita, ilmenita e apatita, produziu depósitos secundários de anatásio e apatita.

Assim, a jazida Salitre é formada, de cima para baixo, por óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e argilo-minerais, com permanência de magnetita, quartzo e ilmenita residuais; e solubilização da apatita e perovskita primária com recristalização de fosfatos de alumínio (crandalita) e fosfatos secundários de terras raras. Este tipo de jazida de fosfato é classificada como de intemperismo e enriquecimento supergênico, semelhante à de Tapira e de Catalão.

Particularmente no caso de Salitre, o manto de intemperismo foi removido, em parte, por processos erosivos, tendo sido eliminados os dois níveis superiores e parte do terceiro nível até próximo à rocha intemperizada. Por isto, o depósito de apatita apresenta teores de enriquecimento apenas

ligeiramente superiores à da rocha subjacente. Entretanto, em que pese os baixos teores de fosfato, o capeamento do jazimento é pouco significativo e por vezes inexistente.

Ao norte, o Domo do Salitre funde-se com o Domo da Serra Negra, mas entre eles há uma barreira de quartzito da auréola deste último domo e um sistema de falhas profundas de direção nordeste.

5.7 CAVA

Considerando as características geológicas, morfológicas e geotécnicas do depósito, bem como a escala de produção e a relação estéril/minério, a lavra da jazida de fosfato deverá ser feita a céu aberto, em bancadas. Esta escolha considerou, principalmente, a distribuição do minério na jazida e a variabilidade de teores no depósito, o que implica na necessidade de lavar, simultaneamente, várias frentes de lavra, permitindo a “blendagem” adequada para alimentação da usina.

O sequenciamento das cavas iniciais (Ano 01 a Ano 03) foi disponibilizado pela GALVANI, sendo as respectivas configurações geométricas apresentadas na Figura 5.11. A cava de exaustão atualmente licenciada, correspondente ao Ano 19, também foi disponibilizada e sua configuração também é apresentada na Figura 5.11. Não foram disponibilizados os sequenciamentos entre os anos 04 e 19.

As cavas projetadas podem ser consideradas como rasas, apresentando desníveis máximos de cerca de 80 a 100 m em relação ao relevo original. A lavra será desenvolvida principalmente em meia encosta, com bancos de 5 a 10 metros de altura, e bermas com 12 metros de largura.

Nas partes mais elevadas, a drenagem das águas superficiais incidentes sobre a cava poderá ser feita por gravidade, sendo conduzida para a rede de drenagem natural. Nas partes mais baixas, a cava se caracterizará como fechada, sendo necessária a adoção de sistemas forçados de drenagem de águas pluviais e de subterrâneas.

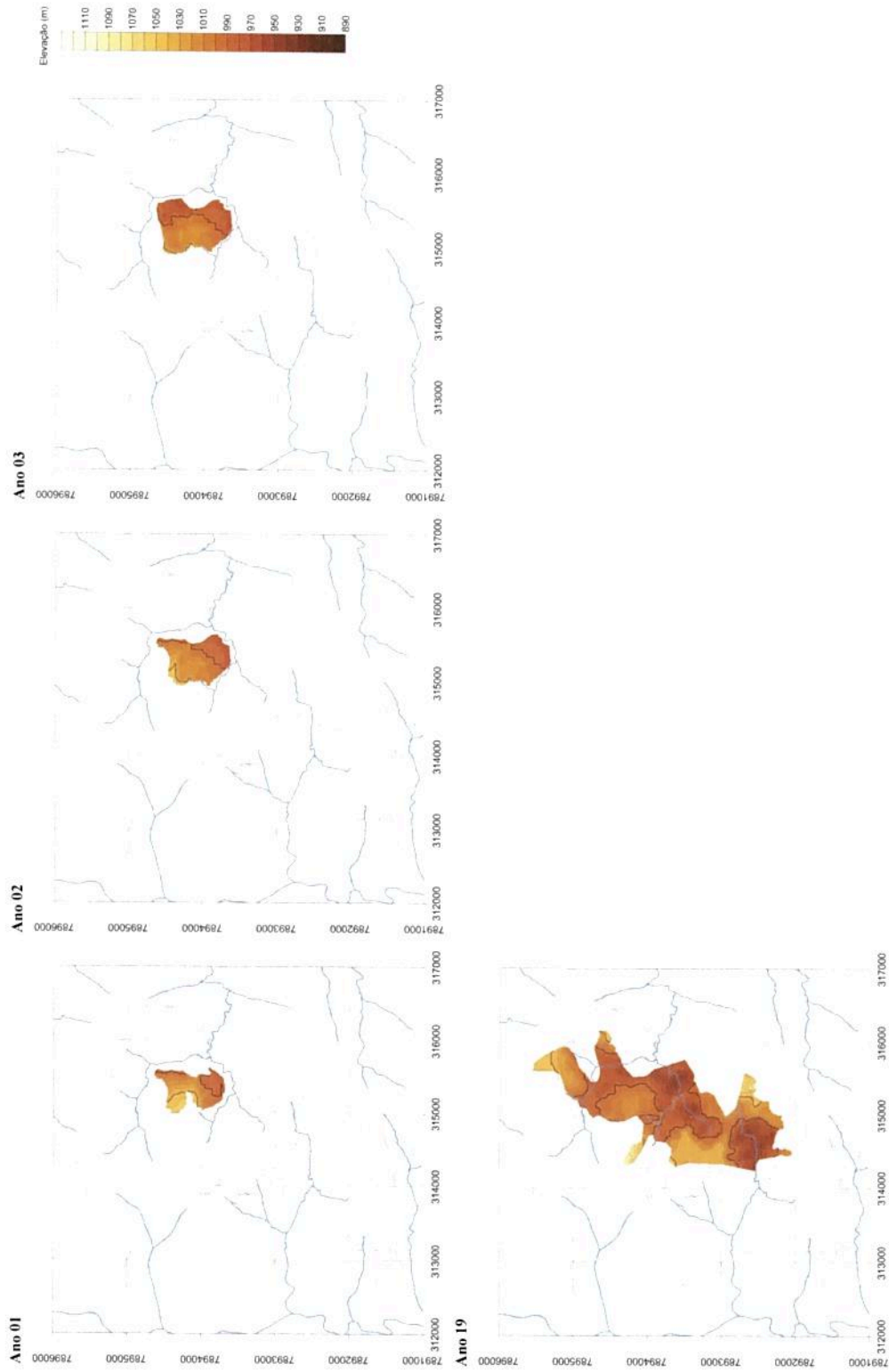
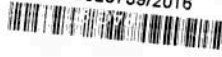


Figura 5.11: Sequenciamento das cavas anuais (Ano 01 a 03) e cava licenciada (Ano 19).

OUTORGA 24720/2016
DOC.0823789/2016



PAGE 67

5.8 HIDROGEOLOGIA

Diversos dados hidrogeológicos foram levantados no período de 2008 a 2010, entre os quais destacam-se:

- Cadastro de nascentes e poços no entorno da área de interesse e Medições de vazões nas principais drenagens que cortam a área;
- Implantação de rede de dispositivos de monitoramento de níveis d'água e de vazões;
- Construção de poço tubular para teste de bombeamento;
- Condução de campanhas de monitoramento.

A seguir, é feita uma descrição detalhada desses itens.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016



PAG:6E

5.8.1 Inventário de nascentes

Durante os estudos para a obtenção da Licença Prévia, foi realizado um amplo inventário de nascentes na área do Projeto Salitre. O cadastro foi realizado nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009; portanto, durante o período chuvoso. Ao todo, foram cadastradas 64 nascentes cujas localizações são mostradas na Figura 5.12. Os pontos definidos como nascentes correspondem aos pontos mais elevados das drenagens onde ocorriam surgências de água.

Na Tabela 3.1, apresenta-se uma compilação das nascentes cadastradas, com indicação das coordenadas (tomadas com aparelho GPS), elevações (obtidas da base topográfica), vazões e medições in situ dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, potencial de oxi-redução (Eh), condutividade elétrica e temperatura.

De forma geral, as nascentes ocorrem em praticamente todos os vales escavados no relevo, conforme mostrado na Figura 5.12. Na área da cava, foram cadastradas 42 nascentes, cujas cotas variaram entre 969 m e 1.097 m, com média de 1.097. Outras 4 nascentes foram cadastradas ao sul do Domo do Salitre e estão fora da área da cava. Ressalta-se que esses dados representam as posições mais elevadas das surgências de água e são representativas do período chuvoso. Portanto, é de se esperar que esses pontos de desloquem para elevações menores durante o período de estiagem.

A grande maioria das nascentes se apresenta de forma difusa ao longo dos talwegues. Nos pontos elevados, as vazões verificadas nas surgências são baixas (da ordem de 1 m³/h ou menos), aumentando para jusante à medida que a contribuição difusa se avoluma no talwegue. Esses foram os casos das maiores medições de vazão realizadas, quando não era possível a medição da vazão diretamente no ponto de surgência, conforme indicado na Tabela 3.1.

Tabela 5.3: Nascentes cadastradas e parâmetros físico-químicos medidos in situ

| Número da Nascente | Coordenadas | | Cota (m) | Vazão | | Parâmetros | |
|--------------------|-------------|-----------|----------|-------|-------------------|------------|--------------------------------|
| | Este | Norte | | L/s | m ³ /h | pH | Condutividade Elétrica (µS/cm) |
| | | | | | | | |
| 001 | 314.665 | 7.893.168 | 1.018 | 0,10 | 0,35 | 7,04 | 135 |
| 002 | 314.603 | 7.893.225 | 1.035 | 0,20 | 0,70 | 7,26 | 123 |
| 003 | 314.567 | 7.893.934 | 1.020 | - | - | 6,18 | 30 |
| 004* | 315.053 | 7.894.087 | 1.028 | 0,23 | 0,84 | 6,11 | 85 |
| 005* | 314.321 | 7.894.646 | 1.047 | 1,09 | 3,92 | 6,26 | 50 |
| 006 | 314.335 | 7.895.527 | 1.078 | - | - | 6,75 | 12 |
| 007* | 314.420 | 7.895.385 | 1.049 | 1,63 | 5,88 | 6,49 | 73 |

| Número da Nascente | Coordenadas | | Cota (m) | Vazão | | Parâmetros | |
|--------------------|-------------|-----------|----------|-------|-------|------------|--------------------------------|
| | Este | Norte | | L/s | m³/h | pH | Condutividade Elétrica (µS/cm) |
| | | | | | | | |
| 008 | 313.460 | 7.894.880 | 1.024 | - | - | 6,20 | 71 |
| 009 | 313.507 | 7.894.906 | 1.026 | - | - | 6,38 | 49 |
| 010 | 313.713 | 7.895.027 | 1.033 | - | - | 6,29 | 130 |
| 011* | 313.808 | 7.895.489 | 1.097 | 2,16 | 7,76 | 4,62 | 3 |
| 012 | 313.964 | 7.895.351 | 1.062 | 0,48 | 1,73 | 5,83 | 79 |
| 013* | 314.014 | 7.895.387 | 1.076 | 0,78 | 2,81 | 6,30 | 83 |
| 014 | 314.019 | 7.895.179 | 1.049 | 0,06 | 0,22 | 6,21 | 88 |
| 015 | 313.697 | 7.894.843 | 1.010 | - | - | 6,78 | 111 |
| 016 | 313.619 | 7.894.823 | 1.007 | - | - | 6,55 | 118 |
| 017 | 313.562 | 7.894.746 | 1.008 | - | - | 6,74 | 147 |
| 018 | 313.556 | 7.894.332 | 1.045 | - | - | 6,31 | 135 |
| 019 | 315.361 | 7.895.214 | 1.051 | 0,04 | 0,14 | 6,30 | 49 |
| 020* | 315.735 | 7.895.127 | 1.054 | 1,26 | 4,54 | 6,53 | 70 |
| 021 | 315.906 | 7.895.278 | 1.061 | 0,33 | 1,18 | 6,63 | 70 |
| 022 | 316.041 | 7.894.749 | 1.014 | 0,96 | 3,46 | 6,47 | 95 |
| 023* | 313.843 | 7.893.702 | 1.010 | 2,27 | 8,18 | 6,93 | 123 |
| 024* | 314.134 | 7.893.318 | 1.031 | 0,17 | 0,60 | 7,17 | 23 |
| 025 | 314.790 | 7.892.417 | 990 | 0,29 | 1,04 | 6,00 | 69 |
| 026* | 315.202 | 7.892.755 | 1.046 | 0,23 | 0,84 | 6,62 | 87 |
| 027 | 314.809 | 7.892.832 | 1.013 | - | - | 6,32 | 143 |
| 028* | 314.856 | 7.891.995 | 1.019 | 1,08 | 3,89 | 6,74 | 115 |
| 029 | 313.829 | 7.891.896 | 996 | 0,50 | 1,80 | 6,71 | 102 |
| 030 | 313.872 | 7.891.876 | 1.004 | 0,43 | 1,53 | 6,96 | 69 |
| 031* | 313.335 | 7.891.796 | 1.008 | 2,80 | 10,08 | 5,96 | 74 |
| 032 | 314.869 | 7.891.305 | 1.022 | 0,75 | 2,71 | 6,21 | 58 |
| 033* | 314.997 | 7.891.529 | 1.035 | 3,32 | 11,95 | 3,46 | 157 |
| 034 | 315.349 | 7.891.707 | 1.012 | - | - | 6,35 | 134 |
| 035 | 315.361 | 7.891.230 | 1.041 | 0,16 | 0,59 | 6,30 | 23 |
| 036 | 316.259 | 7.895.486 | 1.001 | - | - | 6,08 | 33 |
| 037 | 316.542 | 7.895.066 | 1.016 | - | - | 6,45 | 68 |
| 038* | 317.380 | 7.895.039 | 969 | 0,13 | 0,48 | 6,41 | 48 |
| 039* | 316.259 | 7.892.772 | 1.000 | 0,78 | 2,82 | 5,87 | 61 |
| 040 | 316.580 | 7.894.728 | 1.010 | - | - | - | - |
| 041 | 316.574 | 7.894.707 | 1.002 | 1,32 | 4,74 | 6,25 | 113 |
| 042* | 317.446 | 7.894.075 | 971 | 1,86 | 6,71 | 6,89 | 32 |
| 043 | 317.060 | 7.894.036 | 955 | - | - | 6,87 | 51 |
| 044 | 316.070 | 7.891.064 | 1.041 | - | - | 6,25 | 10 |
| 045 | 320.712 | 7.892.220 | 1.027 | 0,03 | 0,10 | 5,75 | 6 |
| 046 | 320.632 | 7.892.264 | 1.030 | 0,21 | 0,74 | 4,75 | 0 |
| 047 | 320.414 | 7.892.449 | 1.013 | - | - | 5,69 | 8 |
| 048 | 320.268 | 7.892.867 | 972 | 0,76 | 2,74 | 5,55 | 5 |
| 049 | 314.685 | 7.895.674 | 1.042 | 4,87 | 17,52 | 6,26 | 68 |
| 050* | 314.572 | 7.896.075 | 1.050 | 2,99 | 10,77 | 6,49 | 64 |

| Número da Nascente | Coordenadas | | Cota (m) | Vazão | | Parâmetros | |
|--------------------|-------------|-----------|----------|-------|-------------------|------------|--------------------------------|
| | Este | Norte | | L/s | m ³ /h | pH | Condutividade Elétrica (µS/cm) |
| | | | | | | | |
| 052 | 315.882 | 7.896.606 | 997 | - | - | 5,44 | 23 |
| 053* | 319.492 | 7.893.001 | 972 | 9,2 | 33,00 | 6,00 | 10 |
| 054* | 316.053 | 7.892.378 | 1.013 | 0,15 | 0,54 | 5,66 | 35 |
| 055 | 315.960 | 7.892.138 | 989 | - | - | 6,40 | 243 |
| 056 | 314.577 | 7.890.945 | 1.021 | 1,30 | 4,69 | 6,11 | 27 |
| 057 | 319.872 | 7.892.323 | 1.010 | 0,19 | 0,70 | 5,97 | 53 |
| 058 | 319.427 | 7.892.250 | 943 | 0,02 | 0,07 | 5,88 | 23 |
| 059* | 318.664 | 7.891.243 | 968 | 1,86 | 6,70 | 6,26 | 3 |
| 060 | 317.979 | 7.891.381 | 958 | 1,86 | 6,70 | 7,13 | 10 |
| 061 | 320.452 | 7.892.166 | 1.020 | 0,32 | 1,14 | 5,28 | 5 |
| 062 | 320.179 | 7.892.061 | 969 | 0,14 | 0,51 | 5,61 | 14 |
| 063* | 320.235 | 7.890.249 | 1.055 | 0,20 | 0,72 | 6,15 | 20 |
| 064* | 319.421 | 7.890.881 | 1.000 | 3,52 | 12,67 | 5,60 | 5 |

* Vazão medida a jusante da nascente

Nota: As vazões foram medidas em Janeiro e Fevereiro/2009. Portanto, são representativas do período chuvoso.

OUTORGA 24720/2016
DOC.0823789/2016



PÁG:71

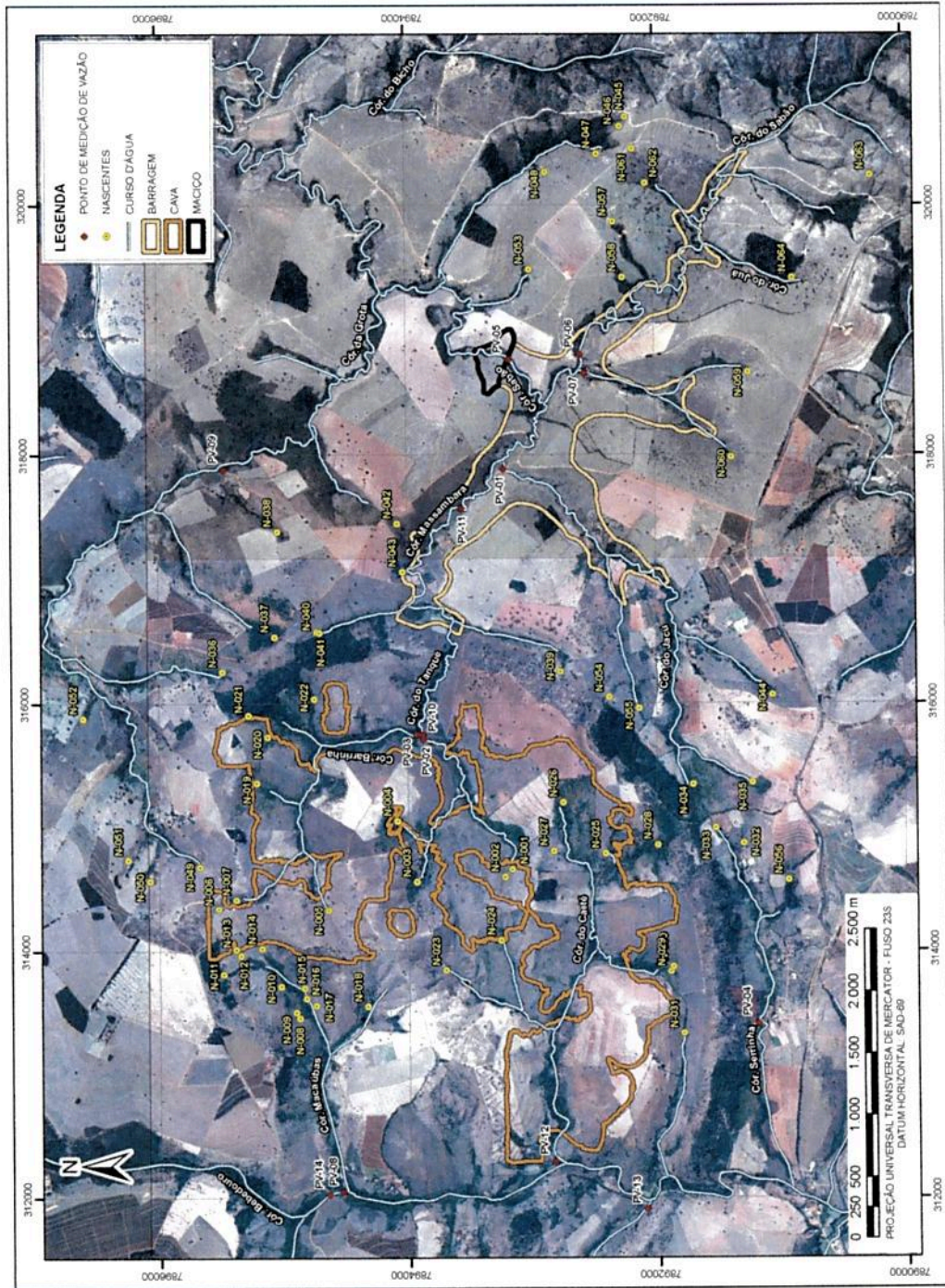


Figura 5.12: Localização das nascentes cadastradas e dos pontos de medição de vazão em córregos (Fonte: VOGBR, 2009).



Algumas nascentes podem ser sazonais, decorrentes da descarga de águas pluviais recentemente infiltradas no solo, ou seja, que só podem ser observadas durante o período chuvoso. Esse é o caso, por exemplo, da Nascente 006 que, segundo o superficiário local, só surge em períodos de chuva abundante. Já a Nascente 007, a jusante da Nascente 006, tem caráter perene.

O pH medido nas nascentes no entorno da cava se mostrou ligeiramente ácido, variando entre 4,63 e 7,26, com média 6,25. Devido ao período chuvoso em que o cadastro foi realizado, esses valores podem ser atribuídos a águas meteóricas recentes. Entretanto, como pode ser visto na Figura 5.13, o pH das nascentes que ocorrem dentro da área do Domo do Salitre são maiores do que naquelas que ocorrem fora dessa estrutura. Isso pode ser resultado do efeito da dissolução dos carbonatos que predominam na matriz geológica do domo e que tendem a elevar o pH da água. A maior dissolução de íons nas águas circunscritas à região do domo fica ainda mais clara quando se observam os valores de condutividade elétrica medidos in situ, conforme mostrado na Figura 5.14. É evidente que no domo ocorre maior dissolução de íons (traduzindo em maiores valores de condutividade elétrica) do que na área da cabeceira do córrego do Sabão, por exemplo. Essas medições preliminares sugerem que, em termos geoquímicos, as águas subterrâneas na área do Domo do Salitre são diferentes daquelas que ocorrem fora dessa estrutura.

OUTORGA 24720/2016

DOC:0823789/2016



PÁG 7!

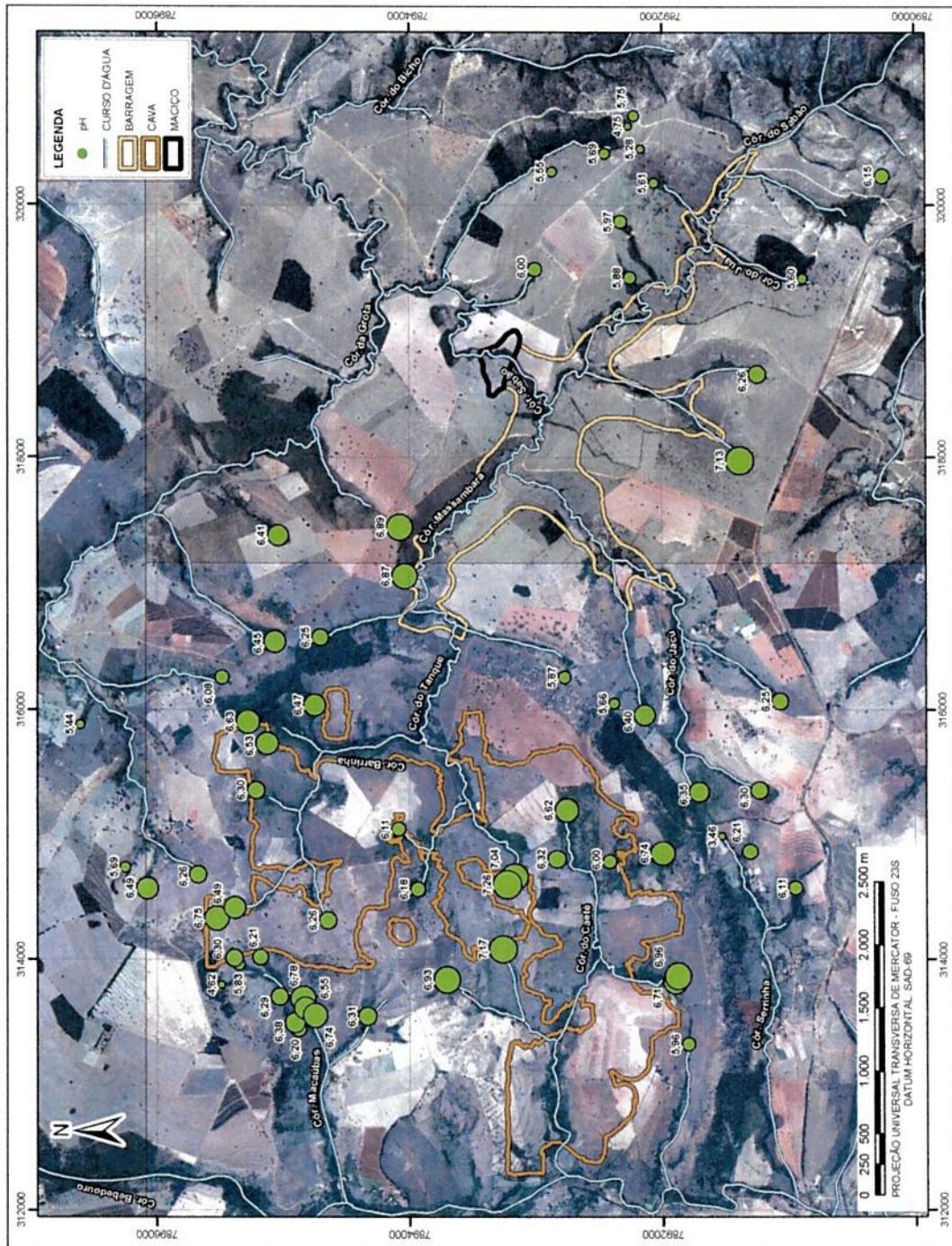


Figura 5.13: Valores de pH medidos in situ durante o cadastro de nascentes (Fonte: VOGBR, 2009).



Figura 5.14: Valores de condutividade elétrica medidos in situ durante o cadastro de nascentes (Fonte: VOGBR, 2009).



5.8.2 Rede de Monitoramento Hidrogeológico

A rede de monitoramento hidrogeológico na área do Projeto Serra do Salitre, à época dos estudos para o licenciamento ambiental, era composta por 03 (três) régua linimétricas, 21 medidores de nível d'água e 05 (cinco) vertedouros, todos eles instalados pela GALVANI. Esses dispositivos foram implantados em 2009, ano em que começou a haver o monitoramento sistemático de vazões e níveis. Um mapa de localização desses dispositivos, restrito à área de interesse deste relatório, é mostrado na Figura 5.15.

A partir do início da implantação do Projeto Salitre, alguns dispositivos passaram a sofrer interferência direta das obras, sendo removidos da rede, entre os quais citam-se: os vertedouros VT-01 e VT-02; a estação fluviométrica R-01; os medidores de nível d'água MNA-S-12 e MNA-S-13; e os poços de monitoramento MNA-Q05 e MNA-Q06. Por outro lado, novos dispositivos foram instalados, entre os quais citam-se as estações fluviométricas R-02J1 e R-04.

Régua linimétricas foram utilizadas no monitoramento das vazões dos cursos de água de maior porte. Foram instaladas em uma das margens da seção fluvial para leitura da elevação do nível de água. O cálculo das vazões é realizado indiretamente a partir da curva-chave da seção fluvial, obtida pela relação entre medições indiretas de vazão, com o uso de molinetes hidrométricos, e a elevação dos níveis de água correspondentes. Os dados de localização dessas estações linimétricas são mostrados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Dados e características das estações fluviométricas

| Código | Curso de Água | Coordenadas UTM | | Área de Drenagem (km ²) | Status |
|--------|----------------------------|-----------------|-----------|-------------------------------------|------------------|
| | | Leste | Norte | | |
| R-01 | Córrego do Sabão 1 | 320.470 | 7.891.218 | 14,60 | Removido da rede |
| R-02 | Córrego do Sabão 2 | 319.021 | 7.893.595 | 28,56 | Operando |
| R-03 | Ribeirão Salitre | 311.678 | 7.883.948 | 361,88 | Operando |
| R-02J1 | Córrego do Sabão - jusante | 319.297 | 7.893.629 | - | Novo |
| R-04 | Ribeirão Salitre | 312.732 | 7.888.584 | - | Novo |

Para monitoramento das vazões nos cursos de água de menor porte foram adotados vertedouros, constituídos de um maciço de concreto armado, uma calha em chapa de aço, por onde ocorre a passagem do fluxo de água, e uma régua linimétrica para medição da sobrelevação do nível de água acima da soleira da calha vertente. Os dados característicos e de localização dos vertedouros são mostrados na Tabela 5.5.

OUTORGA: 24720/2016

DOC:0823789/2016



PÁG:76

Tabela 5.5: Dados e características dos vertedouros

| Código | Curso de Água | Coordenadas UTM | | Seção Transversal | Área de Drenagem (km ²) | Base Menor (cm) | Status |
|--------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------|------------------|
| | | Leste | Norte | | | | |
| VT-01 | Cor. Bruno | 318.644 | 7.892.495 | Trapezoidal Cipoletti | 1,99 | 40 | Removido da rede |
| VT-02 | Cor. Jacu | 317.304 | 7.892.495 | Trapezoidal Cipoletti | 3,88 | 60 | Removido da rede |
| VT-03 | Cor. Carrapatos | 312.178 | 7.891.982 | Triangular | 0,70 | - | Operando |
| VT-04 | Cor. Tanque | 315.751 | 7.893.883 | Trapezoidal Cipoletti | 2,10 | 60 | Operando |
| VT-05 | Cor. Barrinha | 315.749 | 7.893.895 | Trapezoidal Cipoletti | 2,72 | 60 | Operando |

Medidores de nível d'água foram instalados com o propósito de monitorar a variação do níveis freáticos do aquífero superficial na área do projeto. Na área do empreendimento existem dois tipos de dispositivos para leitura do nível freático: medidores de nível d'água simples (MNA-S), revestidos em 2"; e poços para amostragem de água subterrânea (MNA-Q), revestidos em 4", nos quais também se fazem as leituras das profundidades de nível d'água. Os dados referentes aos medidores de nível d'água são mostrados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Dados e características dos dispositivos para medição de nível d'água

| Código | Coordenadas UTM | | Cota (m) | Profundidade NA (Outubro/2012) | Status |
|---------|-----------------|-----------|----------|-----------------------------------|----------|
| | Leste | Norte | | | |
| MNA-S01 | 314.453 | 7.892.188 | 1.029,29 | 17,80 | Operando |
| MNA-S02 | 315.303 | 7.892.332 | 1.065,07 | 16,85 | Operando |
| MNA-S03 | 315.780 | 7.892.662 | 1.079,09 | 17,49 | Operando |
| MNA-S04 | 315.418 | 7.893.081 | 1.057,38 | 15,47 | Operando |
| MNA-S05 | 314.384 | 7.893.514 | 1.074,76 | 15,44 | Operando |
| MNA-S06 | 314.588 | 7.893.686 | 1.042,87 | 16,83 | Operando |
| MNA-S07 | 314.062 | 7.894.230 | 1.114,31 | 32,15 | Operando |
| MNA-S08 | 316.254 | 7.894.486 | 1.048,65 | 9,66 | Operando |
| MNA-S09 | 314.106 | 7.894.809 | 1.095,00 | 20,40 | Operando |
| MNA-S10 | 315.631 | 7.895.373 | 1.084,42 | 22,20 | Operando |
| MNA-S11 | 318.139 | 7.893.816 | 993,34 | 30,05 | Operando |
| MNA-S12 | 318.660 | 7.893.206 | 916,79 | 13,84 | Removido |
| MNA-S13 | 318.812 | 7.893.080 | 915,59 | 10,79 | Removido |
| MNA-Q01 | 313.076 | 7.892.493 | 996,57 | 20,90 | Operando |
| MNA-Q02 | 314.768 | 7.894.355 | 1.061,30 | 17,95 | Operando |
| MNA-Q03 | 315.804 | 7.893.266 | 1.044,46 | 21,76 | Operando |
| MNA-Q04 | 317.024 | 7.893.079 | 1.004,08 | 33,31 | Operando |
| MNA-Q05 | 317.756 | 7.893.275 | 930,70 | 17,24 | Removido |
| MNA-Q06 | 317.696 | 7.891.800 | 1.005,79 | 29,82 | Removido |
| MNA-Q07 | 318.974 | 7.893.457 | 909,98 | 15,49 | Operando |
| MNA-Q08 | 318.966 | 7.891.507 | 971,13 | 16,38 | Operando |

Os dados do monitoramento sistemático de vazões e níveis de água subterrânea que serviram de base para a calibração do modelo hidrogeológico computacional estão reportados no relatório 4GALV001-1-HG-RTE-0006 (VOGBR, 2010).

Em Outubro/2012, a equipe da CLAM realizou uma campanha de campo, na qual foram inspecionados os dispositivos da rede de monitoramento (CLAM, 2012). Nesta ocasião, foram obtidas leituras de profundidade nos medidores de nível d'água, cujos valores encontram-se listados na Tabela 5.6.



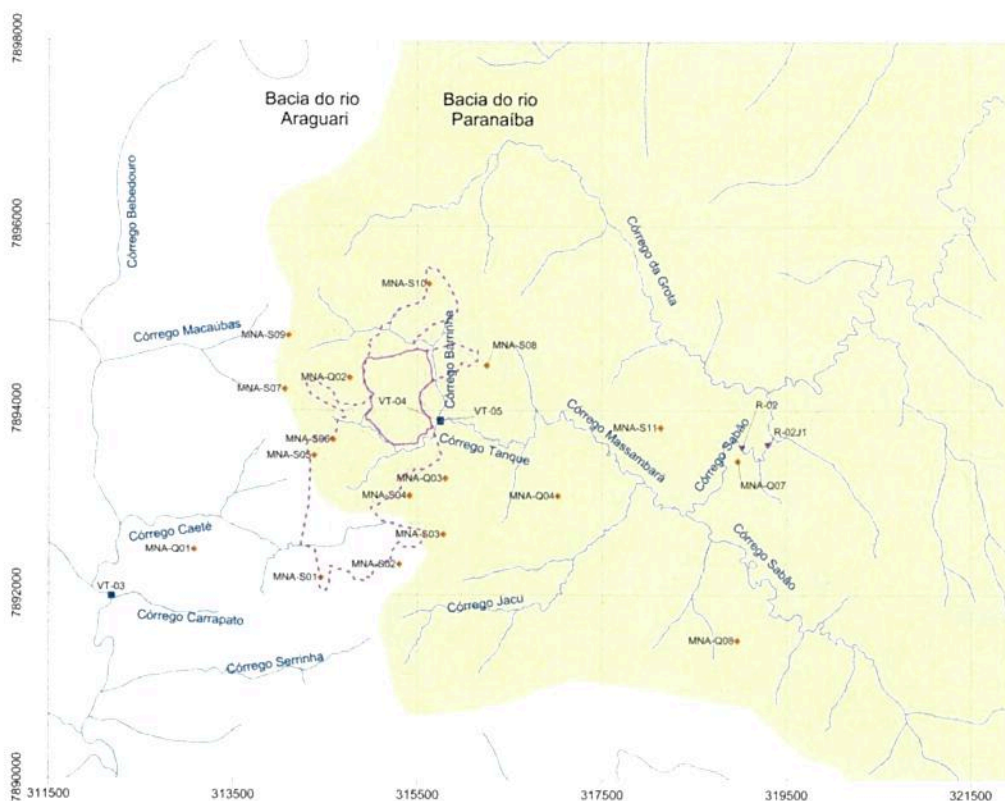


Figura 5.15: Mapa de localização dos atuais dispositivos constituintes da rede de monitoramento hidrogeológico na área do Projeto.

5.8.3 Poço Tubular Profundo

Durante os estudos hidrogeológicos conduzidos para o Licenciamento Prévio Ambiental, foi construído um poço de bombeamento com o objetivo de obter parâmetros hidrodinâmicos para caracterização da disponibilidade hidrogeológica do sistema aquífero local, tendo em vista, também a necessidade de suprimento de água para a usina de beneficiamento do minério (VOGBR, 2010). O poço foi construído na área da futura cava do Projeto Salitre, nas coordenadas UTM-E 315.463, UTM-N 7.893.103 e elevação 1.048 m, conforme mostrado na Figura 5.15.

A perfuração para instalação do poço atingiu 42 m de profundidade e foi realizada com sondagem em dois diâmetros diferentes. Da superfície do terreno até 37,50 m de profundidade, quando se atingiu o topo de rocha sã, foi utilizado o diâmetro de 14". A partir deste ponto até atingir 42 m de profundidade, foi utilizado o diâmetro de 6". Este último trecho (que permaneceu com diâmetro de 6") não foi reaberto para 14" por estar todo contido em rocha sã.



O poço foi revestido em um diâmetro de 8" até a profundidade de 37,50 m (furo em 14"), com tubos lisos e filtros, ambos de aço comum, sendo 27,5 m de filtros e 10 m metros de tubo liso. Os últimos 4 m mais profundos do furo, que permaneceram em diâmetros de 6", não foram revestidos.

O nível freático estático foi encontrado aos 17,94 m de profundidade. Assim, o poço ficou com, aproximadamente, 24 m de revestimento abaixo do nível d'água. Os detalhes construtivos do poço encontram-se no Anexo I-2 do relatório 4GALV001-1-HG-RTE-0005 (VOGBR, 2010).

Para o acompanhamento do rebaixamento no teste com vazão constante foi escolhido, além do próprio poço de bombeamento, os medidores MNA-S-04 e MNA-Q-03, cujas coordenadas são mostradas na Tabela 5.6 e no mapa da Figura 5.15.

O acompanhamento do nível d'água no poço e no MNA mais próximo do poço (MNA-S-04) foi feito utilizando-se medidores eletrônicos automáticos de nível d'água (level loggers) enquanto que no MNA mais distante do poço (MNA-Q-03) utilizou-se um medidor elétrico de profundidade de nível d'água com fita graduada (pio). Adicionalmente, de modo a verificar a evolução em tempo real do rebaixamento no poço e no instrumento MNA-S-04 utilizou-se, também, o medidor elétrico (pio).

O teste de bombeamento no poço foi realizado com 24 horas de duração, tendo sido observada a sua estabilização do rebaixamento no poço em torno de 13,2 m de profundidade. Após o encerramento do teste, foi feito o acompanhamento da recuperação do poço.

Um fato importante a se ressaltar foi a constatação de não ter havido rebaixamento de N.A. nos dois instrumentos monitorados (MNA-S-04 e MNA-Q-03) ao final do teste. Nem mesmo o medidor MNA-S-04 distante apenas 50 m do poço de teste apresentou qualquer tendência de rebaixamento. Desde modo, a avaliação dos parâmetros hidráulicos da formação aquífera foi feita com base nos dados levantados no poço de bombeamento.

Neste teste a vazão constante, o valor médio obtido para a condutividade hidráulica foi de $4,20 \times 10^{-6}$ m/s (Tabela 5.7). Em termos gerais, os valores individuais de condutividade hidráulica encontrados foram considerados como equivalentes. Já em termos das magnitudes destes valores, elas podem ser consideradas como medianas a baixas, porém compatíveis com o esperado para principal formação aquífera do local, composta quase essencialmente de solo, saprolito e rocha fraturada. Estes valores obtidos para a condutividade hidráulica se mostram condizentes com esta litoestratigrafia.

Outro parâmetro importante que calculado foi a produtividade do poço, que é expressa em termos de volume de água bombeada por unidade de tempo e por unidade de rebaixamento da formação



aquífera. Neste caso, nas 24 horas de duração do teste, foi possível bombear a água subterrânea a uma taxa de 4,8 m³/h com rebaixamento máximo de 13,2 m. Com isto, a produtividade resultou no valor de 0,36 m³/(h·m), que pode ser considerado um valor baixo, confirmando a área como pouco promissora do ponto de vista de exploração de água subterrânea.

Tabela 5.7: Dados hidrodinâmicos dos testes de bombeamento e de recuperação no Poço 04

| Tipo de teste | Identificação do local de medição do N.A. | Vazão (Q) (m ³ /h) | Transmissividade (T) (m ² /s) | Condutividade hidráulica (K) (m/s) | Armazenabilidade (S) (adimensional) |
|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Rebaixamento a Vazão Constante | Poço 04 | 4,8 | 1,29×10 ⁻⁴ | 5,84×10 ⁻⁶ | 9,35×10 ⁻⁷ |
| Recuperação | Poço 04 | 0 | 5,61×10 ⁻⁵ | 2,55×10 ⁻⁶ | - |
| Média | | | 9,23×10 ⁻⁵ | 4,20×10 ⁻⁶ | 9,35×10 ⁻⁷ |



PÁG. 81

6 MODELO HIDROGEOLÓGICO

O modelo hidrogeológico computacional é a expressão matemática de um modelo hidrogeológico conceitual, com o qual é possível simular hipóteses e cenários, dos quais são obtidos resultados quantitativos acerca de diversas variáveis hidrogeológicas de interesse.

Até este ponto, foram elencadas as informações que forneceram subsídio para a concepção do modelo hidrogeológico conceitual e para a calibração de um modelo hidrogeológico computacional representativo do contexto da cava, em escala local.

A seguir, passa-se à descrição do modelo hidrogeológico conceitual, o qual serviu de base para a construção do modelo computacional. Na sequência, passa-se à descrição do modelo hidrogeológico computacional e à análise dos resultados obtidos.

6.1 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

6.1.1 Unidades Hidrogeológicas

De acordo com os dados levantados em campo em estudos anteriores e observados em testemunhos de sondagens, realizadas em grande parte da área de interesse, pôde-se aferir que as propriedades hidrodinâmicas dos materiais presentes estão diretamente correlacionadas aos litotipos presentes. Essas unidades podem ser divididas nos seguintes grupos, apresentados esquematicamente na Figura 6.1 e descritos a seguir:

OUTORGA 24720/2016

DOC:0823789/2016



PÁG:82

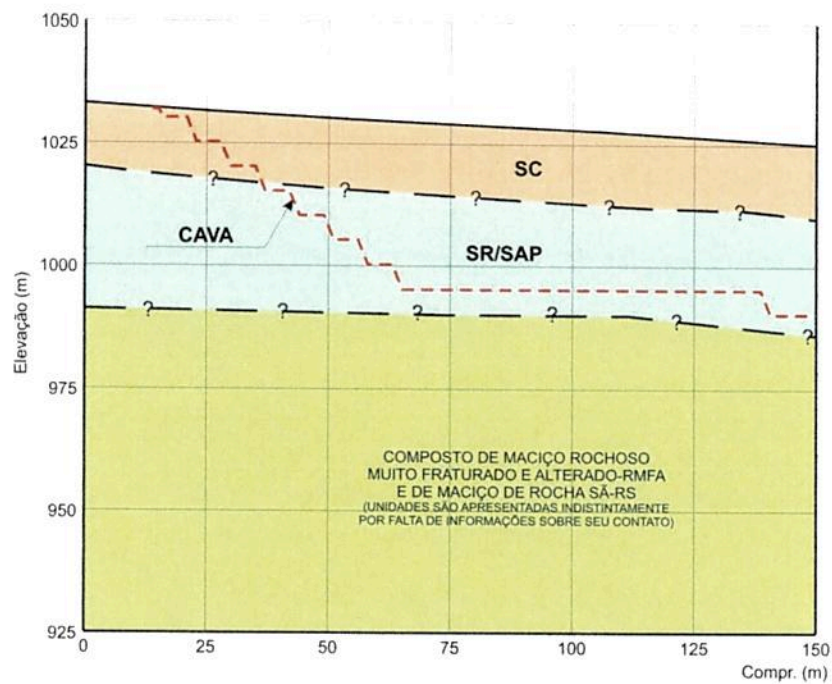


Figura 6.1: Seção esquemática típica, representativa da área do Projeto Salitre.

1. Solos de cobertura (SC) – ocorrem recobrendo partes da área e são constituídos de material com textura areno-argilosa, com espessuras que variam, em média, entre 3 e 5 m, chegando às vezes, a espessuras de mais de 10 m na parte SW da jazida. As menores espessuras estão localizadas na zona central do domo, na parte central da cava, apresentando espessuras médias entre 1 e 1,5 m. Sua presença é mais marcante próximo às drenagens, onde se notam maiores concentrações de materiais com granulometria fina. Esta unidade é caracterizada por porosidade essencialmente granular e por condutividades hidráulica variando de moderada a baixa conforme o menor ou maior teor de argila em sua matriz.



2. Solo residual/saprolito (SR/SAP) – constitui-se do material resultante do intemperismo da rocha mãe, diferenciando-se apenas em relação à preservação de estruturas da rocha mãe (saprolito) ou não (solo residual). O horizonte saprolítico apresenta espessuras médias de 20 a 30 m, apresentando-se com espessuras de mais de 40 metros na parte central da cava aonde o solo de cobertura é menos marcante. As maiores espessuras ocorrem nas áreas mais elevadas, correspondentes aos topos das colinas, diminuindo gradativamente em direção aos vales. No contexto hidrogeológico do Projeto Salitre, esta é a principal unidade de interesse, pois é nela que será realizada a lavra do minério fosfático e onde também se encontra a superfície freática do sistema aquífero local. As características desta unidade observadas nos testemunhos de sondagem permitem lhe atribuir uma boa capacidade de armazenamento de água em sua porosidade (essencialmente granular) e uma condutividade hidráulica relativamente baixa.
3. Maciço rochoso muito fraturado e alterado (RMFA) – Ocorre sotoposto ao saprolito ou ao solo residual, sendo constituído de maciço rochoso muito fraturado e muito alterado. Apesar da maioria dos testemunhos de sondagem observados indicar que os furos exploratórios foram interrompidos antes que essa unidade fosse atingida, assume-se que sua ocorrência seja ampla na área. Não existem dados suficientes para caracterizar sua espessura média na região. A porosidade total é representada primordialmente pelos espaços entre os fragmentos da rocha e a condutividade hidráulica é mais alta do que a do solo residual/saprolito sotoposto, em função dos tamanhos desses espaços. Para a cava do Projeto Salitre, esta unidade tem importância relativa menor, uma vez que a lavra deve se limitar às unidades superiores.
4. Maciço de rochas sãs (RS) – Constituído de maciço rochoso muito pouco fraturado, seus materiais apresentam alta resistência geotécnica e baixa alteração. Poucos furos, entre os observados, atingiram essa unidade. Do ponto de vista hidrogeológico, esta unidade apresenta porosidade muito baixa e condutividade hidráulica também muito baixa. Para o Projeto Salitre, esta unidade tem pouca relevância.

A seqüência de unidades hidrogeológicas descritas acima é bem representada pelos testemunhos de sondagem do furo exploratório P-14, cujas fotos são mostradas na Figura 6.2.





Figura 6.2: Testemunhos de sondagem do furo P-14, mostrando o perfil litológico típico da área do projeto.

Portanto, as águas subterrâneas na área da cava do Projeto Salitre ocorrem em um sistema aquífero misto – predominantemente poroso, mas também fissural-fraturado -, formado basicamente por quatro unidades: (1) uma camada de solos de cobertura (SC) com textura argilo-arenosa de espessura variada, sobreposta a uma camada de (2) solos residuais e saprolitos, com espessuras que variam entre 20 e 30 m que, por sua vez, encontram-se sobrepostos a (3) um pacote de rochas muito alteradas e fraturadas ou a (4) rochas sãs. Esse sistema aquífero apresenta-se como livre e sua superfície freática assume uma conformação que acompanha, de forma suavizada, a superfície do relevo. Quando em terrenos elevados (correspondentes à área da cava), o nível freático ocorre na camada de solos residuais/saprolitos. Nos terrenos mais baixos, correspondentes aos talwegues



principais de drenagem, o lençol freático ocorre ou na camada de solos residuais/saprolitos ou na camada de solos de cobertura. Portanto, no contexto de exploração da jazida de fosfato, pode-se considerar que o sistema aquífero de interesse para o Projeto Salitre é formado basicamente pelo sistema aquífero superior, granular, formado pela camada de solos residuais e saprolitos.

Na área da cava, esse sistema aquífero é oriundo do armazenamento de água em porosidade formada no manto de intemperismo da intrusão alcalina que deu origem ao Domo do Salitre. Através das medidas in situ de parâmetros físico-químicos, pode-se notar, mesmo preliminarmente, que suas águas apresentam-se distintas daquelas que ocorrem fora dessa estrutura, com pH ligeiramente superior e valores mais altos de condutividade elétrica do que no entorno, denunciando uma maior dissolução de íons na área do Domo.

Já em profundidade, é razoável supor que esse sistema aquífero (agora predominantemente fissural) apresenta-se isolado dos demais sistemas no entorno do Domo do Salitre pelo aquíclode representado pelas rochas que compõem o anel do domo (quartzitos e filitos).

6.1.2 Padrão de Escoamento Subsuperficial

A recarga do sistema aquífero na área da cava se faz por infiltração direta da precipitação atmosférica através da camada de solos de cobertura ou dos solos residuais.

Em função do grande número de nascentes que ocorrem na região e da pequena distância entre esses pontos e as áreas de recarga, concebe-se que o tempo de permanência das águas subterrâneas nesse aquífero superficial seja relativamente curto.

O escoamento de água subterrânea na área da cava é eminentemente local e se faz de forma predominantemente radial, a partir das áreas de cotas mais elevadas, divergindo para os talwegues que cortam a região.

A descarga deste sistema é feita em nascentes que se localizam em praticamente todos os talwegues modelados no terreno. Essas nascentes se apresentam de forma difusa e com pequena vazão ao longo dos talwegues, mas que se avolumam a jusante, nos eixos de drenagem. Na porção Norte da cava, a descarga de água subterrânea é feita em nascentes e talwegues que formam o córrego Barrinha. Na sua porção central, as nascentes e talwegues formam o córrego do Tanque, afluente da barragem Sabão I. Na porção Sul da cava, as nascentes e talwegues formam o córrego Caeté, afluente do córrego Bebedouro.

A partir da observação de vários elementos (tipos litológicos, topografia, gênese das rochas dentre outros), é razoável assumir que não existe um nível de base regional responsável por drenar as águas subterrâneas que ocorrem neste sistema aquífero superior.

6.1.3 Interferência com a lavra

A partir do confronto entre a superfície freática obtida neste estudo e a geometria da cava de exaustão fornecida pela Galvani, fica evidente que o lençol freático representará uma interferência para a lavra da jazida de fosfato no Projeto Salitre. Assim, para viabilizar as operações de lavra serão necessárias medidas para rebaixar o nível dessa superfície freática, objeto das simulações realizadas a seguir, com auxílio de um modelo hidrogeológico computacional.

6.2 MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL

Neste item, apresenta-se a implementação do modelo hidrogeológico computacional, e discutem-se os aspectos da sua calibração e dos resultados obtidos para a simulação do rebaixamento do lençol freático nas frentes de lavra na cava do Projeto Salitre.

6.2.1 Premissas

O desenvolvimento de um modelo computacional de um sistema hidrogeológico objetiva o melhor entendimento do comportamento hidrodinâmico dos aquíferos estudados e auxilia na tomada de decisões envolvendo esses recursos, na medida em que é possível fazer previsões utilizando esse modelo. Todavia, um modelo computacional é uma representação simplificada de um sistema, na maioria das vezes, bastante complexo, do qual se conhece um número limitado de informações pontuais. Mesmo assim, o desenvolvimento de tal modelo se justifica pela facilidade que o mesmo proporciona de se testarem diversas hipóteses sobre o sistema hidrogeológico consideradas no modelo conceitual e também pela constatação de que, aliado a um modelo conceitual bem elaborado, este se torna um poderoso instrumento de gestão hídrica.

Por se tratar de uma representação simplificada de um sistema muito complexo, o desenvolvimento de um modelo computacional parte de algumas premissas básicas. No estudo do sistema aquífero da área da cava do Projeto Salitre, as premissas são as seguintes:

- Buscou-se desenvolver um modelo computacional que represente o comportamento geral do sistema hidrogeológico local, baseando-se nas informações disponíveis e na premissa de que os litotipos e estruturas existentes podem ser representados no modelo como um meio



poroso contínuo, diferenciadas entre si pelos valores de condutividade hidráulica, porosidade e armazenamento específico, como preconiza a utilização do software Visual MODFLOW;

- Pretende-se descrever, com este modelo computacional, a expectativa do regime hidrodinâmico médio do sistema aquífero local, a partir da simulação em regime estacionário (ou permanente) como também em regime transiente;
- Sendo assim, na simulação em regime estacionário não são consideradas flutuações sazonais e não sazonais de diversas variáveis envolvidas, tais como da precipitação (recarga), evapotranspiração, escoamento de base e nível do lençol freático, enquanto que na simulação em regime transiente são consideradas variações na precipitação (recarga) e nos níveis do lençol freático;
- As unidades hidroestratigráficas descritas no modelo conceitual têm um fator de anisotropia vertical constante e os valores de condutividade hidráulica podem decrescer com a profundidade, de acordo com um fator que depende do tipo de porosidade predominante;
- A influência do reservatório da barragem de rejeitos foi desconsiderada na simulação, por estar em cotas inferiores às cavas iniciais;
- Os estágios simulados são:
 1. Condição do Ano 0, em regime quase-estacionário, com recarga constante e sem rebaixamento. O campo de cargas hidráulicas resultante desta situação é utilizada como condição inicial para o próximo estágio;
 2. Condição do Ano 0 ao Ano 03, em regime transiente, com taxa de rebaixamento variando de ano a ano, obedecendo ao sequenciamento da lavra. Permanecem constantes as propriedades de armazenamento específico (S_s), produção específica (S_y), e as porosidades, total e específica. As demais condições de contorno e as propriedades dos materiais permanecem constantes. A recarga tem variação sazonal e é discretizada mensalmente, representando os períodos de chuva e de estiagem. Este estágio tem caráter preditivo, no qual se busca avaliar a quantidade de água subterrânea que deve ser subtraída do sistema aquífero de modo a se manter o nível freático abaixo dos fundos das cavas, tendo como base a programação de lavra prevista;

3. Condição do Ano 03 ao Ano 19, em regime transiente, com rebaixamento de nível para um sequenciamento de lavra linear entre a cava do Ano 3 e a cava do Ano 19. Tal representação não condiz com uma situação normal de lavra; entretanto, neste estágio do Projeto, ainda não foram definidas as cavas sequencias entre o 7º e o 19º anos. Dessa forma, essa premissa tenta resolver a lavra de forma linear, objetivando, principalmente, à obtenção do rebaixamento máximo do nível freático para possibilitar a lavra da cava final.

6.2.2 Desenvolvimento do Modelo

6.2.2.1 Aplicativo Computacional

A versão computacional do modelo que representa a dinâmica hidrogeológica no domínio de investigação foi implementada através do aplicativo Visual MODFLOW v. 2012.1 (Waterloo Hydrogeologic, Inc., 2011). Esse aplicativo computacional simula o escoamento da água subterrânea numa configuração geométrica tridimensional, por meio de um modelo numérico de diferenças finitas que resolve a equação diferencial do escoamento de água no meio subsuperficial (Anderson e Woessner, 1991), qual seja:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^*$$

- K_x , K_y e K_z representam os componentes do tensor de condutividade hidráulica nas direções x, y e z, respectivamente, [LT^{-1}];
- h representa a carga hidráulica, [L];
- S_s representa o armazenamento específico do meio poroso, [L^{-1}] (não utilizado em regime estacionário);
- R^* representa o termo geral de fonte ou sumidouro de água [T^{-1}], reproduzindo a injeção ($R > 0$) ou remoção ($R < 0$) de um volume de água, por unidade de volume do meio, por unidade de tempo; e,
- t representa o tempo, [T].

6.2.2.2 Consideração Temporal

O modelo hidrogeológico computacional foi desenvolvido levando-se em conta uma condição inicial temporalmente quase-estacionária, para obtenção da condição inicial de simulação, e condições temporalmente transientes nos estágios subseqüentes. Numa situação quase-estacionária,



os valores das cargas hidráulicas variam espacialmente, porém são constantes no tempo enquanto que, numa situação transiente, as cargas hidráulicas variam tanto espacialmente quanto temporalmente. Assim, pretende-se, com esse modelo, obter uma representação média do comportamento hidrodinâmico do sistema aquífero em questão, que represente o rebaixamento do lençol freático nas frentes de lavra.

6.2.2.3 Definição do Domínio de Cálculo

Na Figura 6.4 é apresentado o domínio do modelo hidrogeológico, que abrange a área da cava do Projeto Salitre, juntamente com uma parte razoável de seu entorno. O contorno do domínio foi definido a partir das micro-bacias hidrográficas relevantes ao estudo, determinadas por meio de geoprocessamento do levantamento topográfico existente, podendo ser composto por cristas de morros ou leitos de córregos, dependendo da condição mais adequada em cada situação.

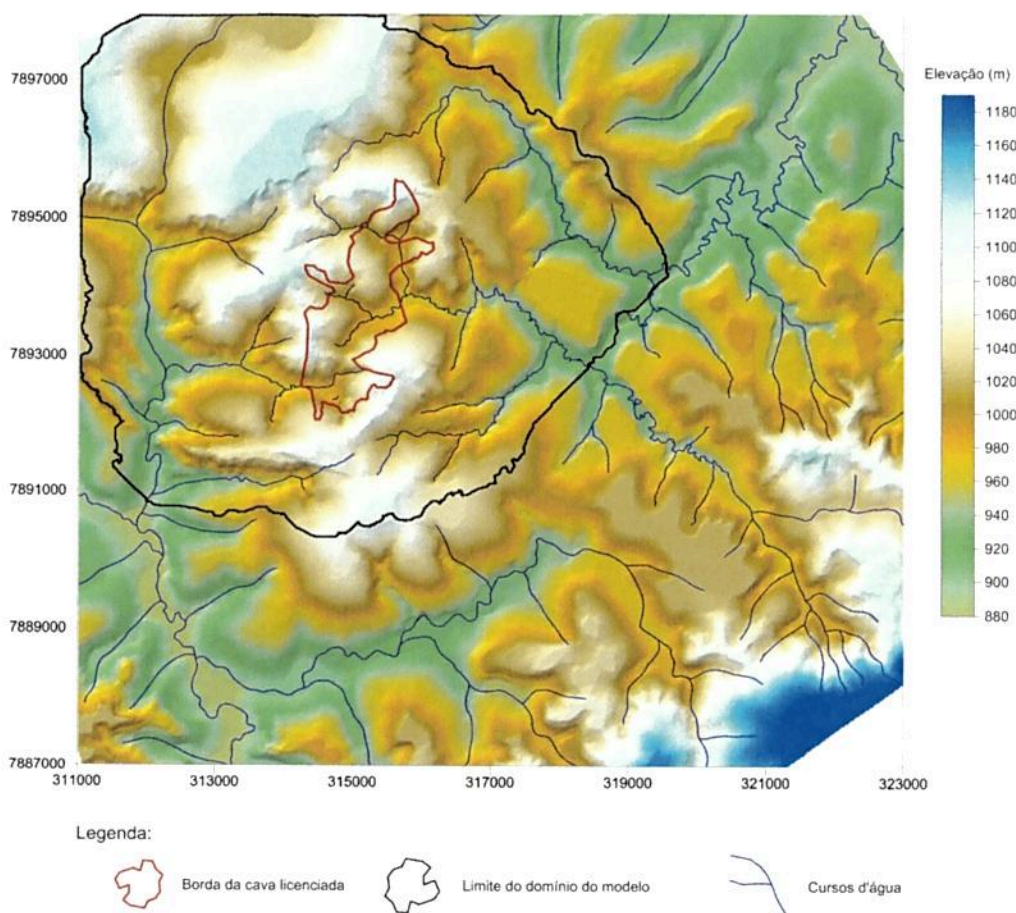


Figura 6.3: Mapa representando o limite do domínio utilizado para a modelagem computacional.



6.2.2.4 Definição da Malha de Cálculo

A malha de cálculo do modelo foi definida por 152 linhas, 170 colunas e 23 camadas horizontais, formando um conjunto de 594.320 células computacionais, com lados horizontais de 50 m e alturas variáveis nas diversas camadas.

Dessa forma, o domínio de cálculo é representado por um bloco tridimensional com geometria lateral irregular, no qual somente as células internas ao domínio são consideradas ativas e, portanto, participam efetivamente do cálculo computacional. As dimensões desse bloco são:

- 7.600 metros de comprimento, na direção S-N, ao longo do eixo de y;
- 8.500 metros de largura, na direção W-E, ao longo do eixo de x; e,
- 575 metros de altura, ao longo do eixo de coordenada z.

Uma vista em planta da distribuição das células ativas e inativas é mostrada na Figura 6.4, enquanto seções verticais nas direções W-E e S-N são mostradas na Figura 6.5 (a superfície topográfica atual é representada pela linha sólida de cor vermelha e a superfície topográfica final é representada pela linha sólida de cor verde).

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016



PÁG:91

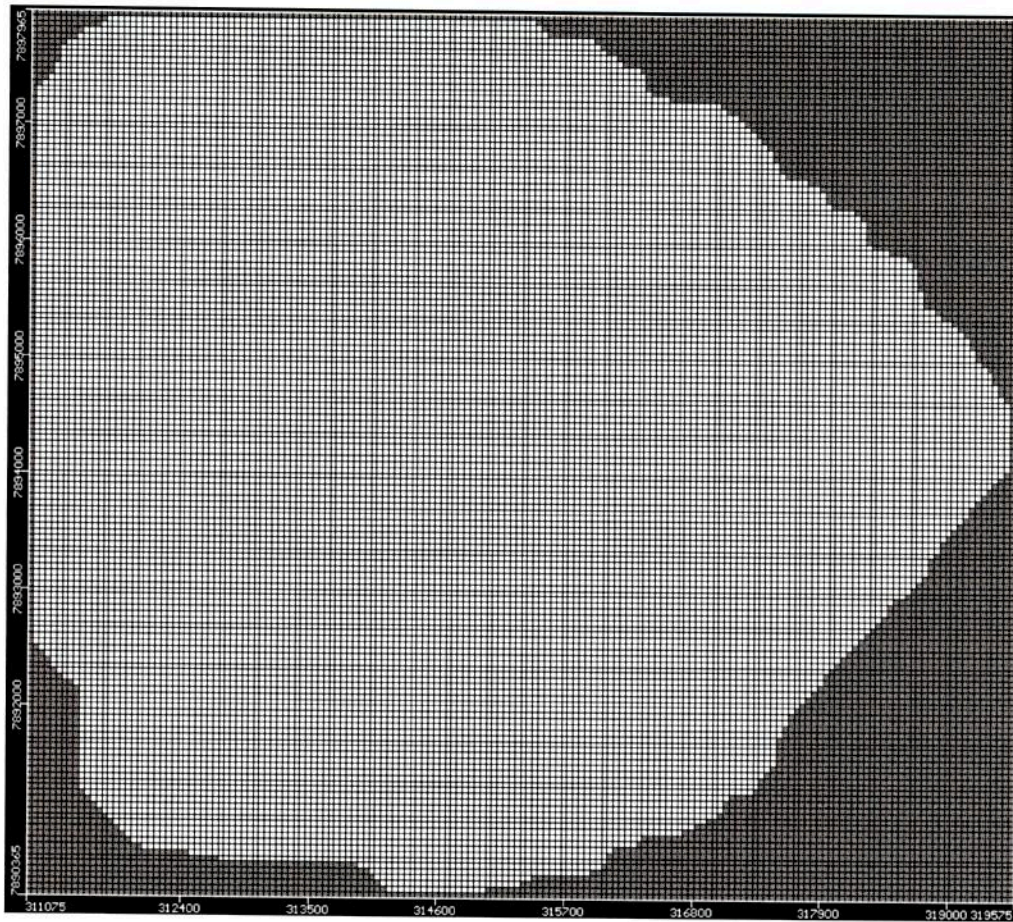


Figura 6.4: Malha de cálculo em planta. Células ativas são representadas em branco; as inativas, em verde.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016

PÁG:92

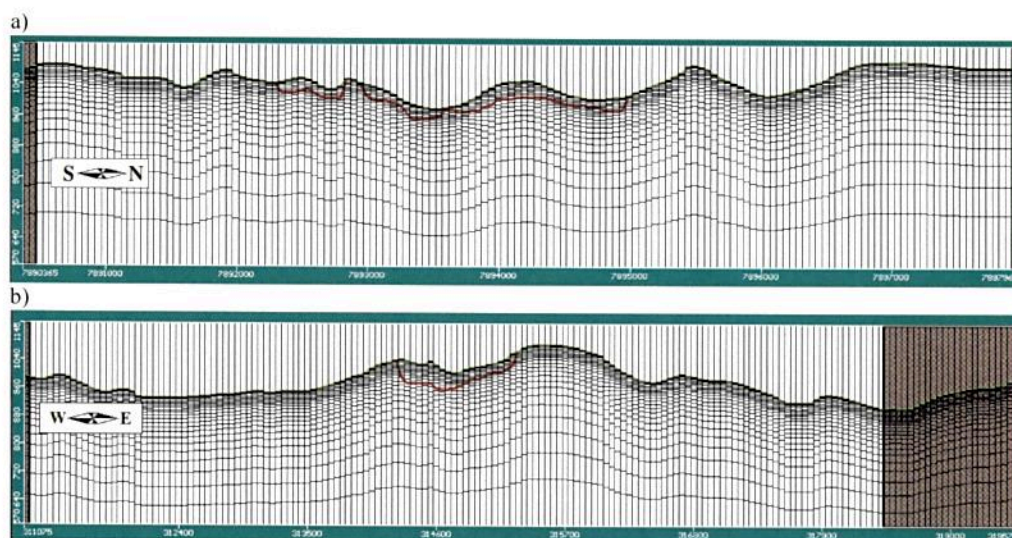


Figura 6.5: Malha de cálculo em seções: a) S-N (315.150E); b) W-E (7.892.790N). Linha verde: topografia atual.
Linha vermelha: cava final.

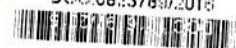
6.2.2.5 Implementação Espacial das Unidades Hidroestratigráficas

Para uma jazida muito extensa e que ocorre somente nos horizontes superiores do perfil de intemperismo, a pesquisa geológica local ficou restrita praticamente ao horizonte de solo/saprolito/rocha fraturada. Segundo informações obtidas junto ao corpo técnico da GALVANI, os furos de pesquisa foram interrompidos, em sua maioria, quando atingiram a rocha sã. Dessa forma, a informação geológica de pesquisa exploratória também ficou restrita a esses horizontes.

Por se tratar de um modelo de escala local e em virtude da escassez de informações de campo acerca dos parâmetros hidráulicos de todos litotipos presentes, foi feita uma simplificação da representação das unidades hidroestratigráficas principais, no modelo computacional.

Essas unidades foram implementadas no modelo computacional da seguinte maneira: os solos, solos residuais e saprolitos foram representados por camadas, paralelas ao relevo, cujos valores de condutividade hidráulica sofrem redução gradual à medida em que aumenta a profundidade. Essas camadas são consideradas como tendo porosidade primária (intergranular). Subjacente a essas camadas, foi considerada uma outra camada (espessura de 7 m, entre as profundidades de 35 a 42 m) com valor de condutividade hidráulica mais elevado, para representar a camada de rochas muito fraturadas. A porosidade nesta camada também foi considerada intergranular. Na sequência (aumentando a profundidade), passou-se a considerar camadas representando as rochas fraturadas, de porosidade secundária, e com valores de condutividade hidráulica também gradualmente decrescentes, considerando a mesma taxa de decaimento anterior.

O conceito de decréscimo da condutividade hidráulica com o aumento da profundidade foi implementado, no modelo, utilizando-se um valor típico de condutividade hidráulica (K_0) associado



a um fator λ , que determina quão rápido K decresce em profundidade (Anderman & Hill, 2003). Assim, o valor da condutividade decresce com a profundidade de acordo com a seguinte equação:

$$K(z) = K_0 \times 10^{-\lambda(z-d)}$$

onde:

- $K(z)$ é o valor de K na profundidade z ;
- K_0 é o valor típico de condutividade hidráulica, atribuído a uma profundidade d , abaixo da superfície topográfica;
- λ é o fator de decrescimento de K com a profundidade; e,
- d é a profundidade, em relação à superfície topográfica, para a qual é atribuído o valor típico de condutividade hidráulica da unidade hidroestratigráfica;
- z é a profundidade em relação à superfície topográfica.

Para células localizadas acima daquelas contendo o valor de K_0 , o valor de condutividade aumenta enquanto que para aquelas localizadas abaixo, o valor da condutividade diminui, conforme a curva da equação acima. Dessa forma, o modelo computacional permite uma representação mais realista da distribuição de condutividades hidráulicas, em que as células mais superficiais possuem maiores condutividades em função da ação do intemperismo e do alívio de pressões, e células mais inferiores adquirem valores decrescentes de condutividade. Por fim, utiliza-se um valor de corte para o mínimo de condutividade hidráulica, por questões meramente computacionais. Tal mínimo foi considerado como 10^{-12} m/s, a partir de cerca de 90 m de profundidade.

Na Figura 6.6 é mostrado um perfil do modelo, representando a distribuição dos valores de condutividade hidráulica, conforme descrito anteriormente. As células azuis representam a camada de rochas muito fraturadas, enquanto as demais células roxas representam o perfil de decréscimo gradual dos valores de condutividade hidráulica.



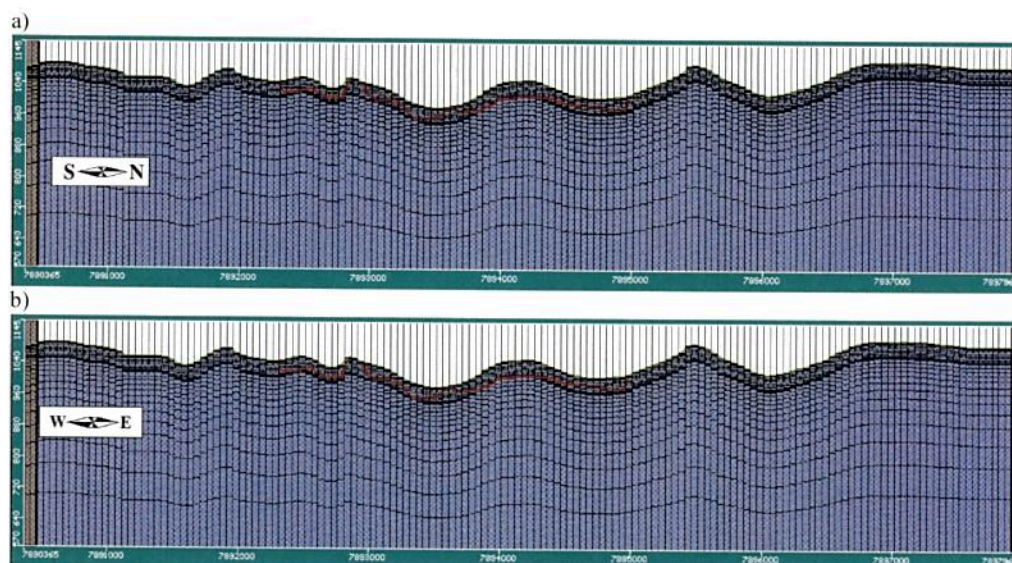


Figura 6.6: Distribuição de condutividade hidráulica nas células do modelo a) S-N (315.150E); b) W-E (7.892.740N). Linha vermelha: cava final.

Na Tabela 6.1 são listados os valores utilizados para representar o perfil de valores de condutividade hidráulica. Ressalta-se que o valor de K_0 foi definido durante o procedimento de calibração do modelo, discutido no item 6.2.3. Na Figura 6.7 é mostrado o perfil resultante desses valores adotados (à exceção do valor utilizado para a camada de rochas muito fraturadas).

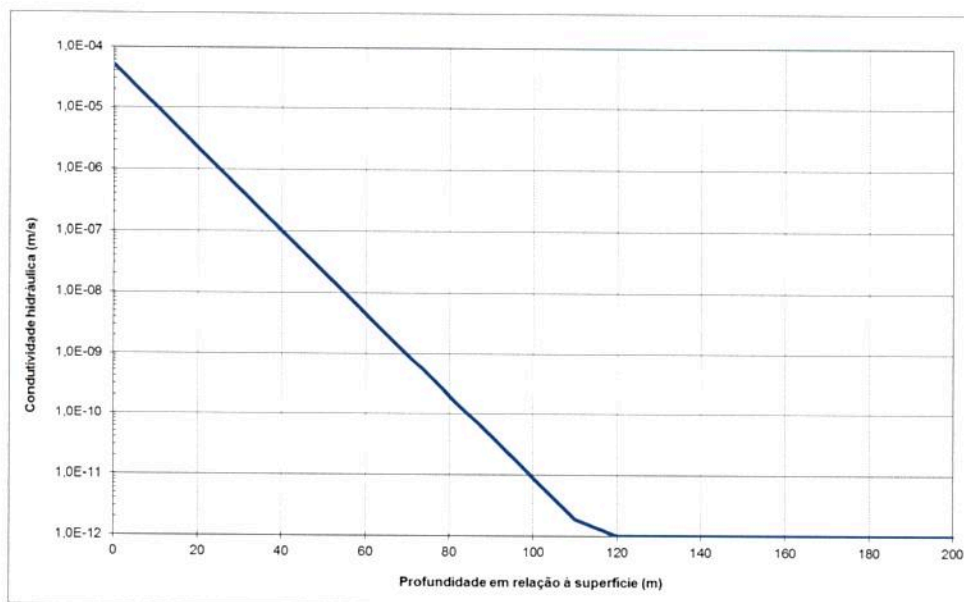


Figura 6.7: Curva de decréscimo da condutividade hidráulica com o aumento da profundidade.

Os valores de porosidade foram distinguidos para os litotipos com porosidade primária (intergranular) e porosidade secundária (fraturas e fissuras) da seguinte forma:

- Para os litotipos com porosidade primária: $S_p = 0,3$;
- Para os litotipos com porosidade secundária: $S_p = 0,05$.

6.2.2.6 Definição e Implementação das Condições de Contorno

As condições de contorno implementadas no modelo foram:

- fluxo nulo nas bordas e no fundo do modelo;
- fluxo constante na primeira camada ativa, representando a recarga, distribuída homogeneamente.

A recarga foi implementada uniformemente por todo o domínio do modelo, tendo em vista a homogeneidade dos litotipos de cobertura e do uso do solo no domínio considerado. O valor da taxa de recarga durante a simulação em regime estacionário foi determinado pelo procedimento de calibração, descrito no item 6.2.3. Nas simulações transientes, admitiu-se a variação mensal da recarga, conforme percentual da precipitação média mensal, para os Anos 01 a 03 (para os quais há o sequenciamento anual da cava).

As saídas de água existentes no domínio correspondem às drenagens superficiais que ocorrem nos talwegues naturais do terreno e, também, aos drenos hipotéticos que foram implementados na simulação da condição futura para efetuar o desaguamento necessário ao avanço das atividades de lavra. Para os drenos incumbidos de desaguar a cava, foi considerada uma cota de desaguamento 10 m inferior às cotas das bermas, taludes e fundos das cavas, de modo a permitir uma condição geotecnicamente segura (não saturação) para o desenvolvimento dos diversos trabalhos desenvolvidos na lavra. As drenagens naturais e os drenos foram implementados no modelo utilizando-se do recurso “Dreno” do Visual MODFLOW.

6.2.3 Calibração do Modelo

A calibração do modelo computacional é um procedimento no qual se variam os valores de parâmetros intrínsecos do modelo, tais como condutividade hidráulica, recarga e armazenamento, e se observam os efeitos dessas mudanças de valores nas predições de carga hidráulica e de vazões feitas pelo modelo. Essas predições são, então, comparadas com valores medidos em campo, a partir de leituras de cotas piezométricas e de vazões em cursos d'água. O objetivo da calibração é obter, para um dado momento, um conjunto de predições que seja o mais concordante possível com as observações de campo.

A calibração em estado estacionário visou à representação do regime hidrodinâmico correspondente ao final do período de estiagem, quando praticamente todo o deflúvio observado é decorrente do escoamento de base. Os valores que orientaram as vazões de calibração foram as vazões mínimas monitoradas nos córregos, entre 2009 e 2010 (VOGBR, 2010) e os correspondentes níveis freáticos observados nos medidores de nível d'água. Os valores da recarga, das condutividades hidráulicas das unidades hidroestratigráficas e dos fatores λ que resultaram no melhor ajuste dos valores de vazão e dos níveis d'água observados no campo são listados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Valores e parâmetros resultantes da calibração do modelo em regime estacionário

| Litotipo | Parâmetro | | | |
|--------------------------------------------|-------------------------------|-----------|------|------------|
| | K_{0x} | λ | D | Recarga |
| Solos de cobertura, residuais e saprolitos | $1,0 \times 10^{-7}$ m/s | 0,0675 | 40 m | 260 mm/ano |
| Rochas muito fraturadas | $Kx = 1,0 \times 10^{-6}$ m/s | | | 260 mm/ano |
| Rocha sã | $1,0 \times 10^{-7}$ m/s | 0,09 | 40 m | - |

Nota: para todas as camadas, adotou-se $K_x = K_y = 10K_z$.

A curva de calibração das cotas piezométricas correspondentes a essa configuração de condutividades hidráulicas e de recarga, é mostrada na Figura 6.8.

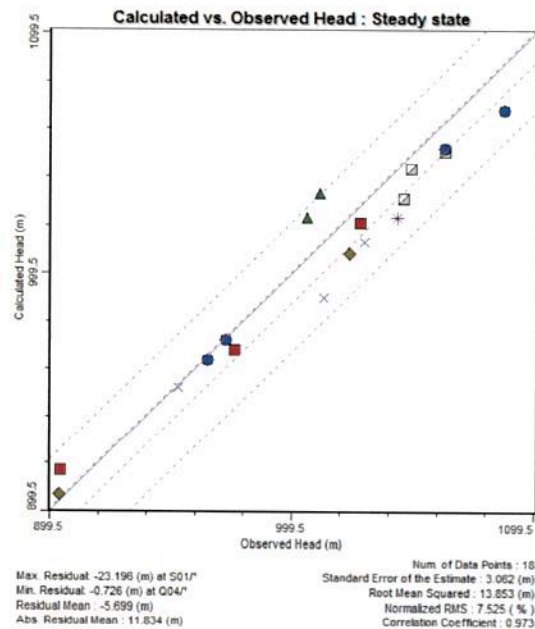


Figura 6.8: Curva de calibração de níveis d'água no modelo computacional.



Para a recarga durante a simulação em regime transiente, considerou-se a sua variação sazonal mensal, proporcional à taxa de precipitação mensal. Um incremento de 90 mm anuais na recarga, durante os meses de Outubro a Março, foi considerado para contabilizar o acréscimo para o escoamento de base decorrente do período chuvoso. Os valores mensais utilizados para a recarga para os Anos 01 a 03 são listados na Tabela 6.2 e mostrados na Figura 6.9.

Tabela 6.2: Valores de recarga utilizados na simulação transiente: taxas mensais (Anos 01 a 03).

| Dias no mês | Mês | Altura de chuva (mm) | Fração da altura anual (%) | Recarga efetiva mensal (mm) |
|-------------|--------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 31 | Out | 124 | 8,3 | 30,35 |
| 30 | Nov | 211 | 14,1 | 51,62 |
| 31 | Dez | 275 | 18,4 | 67,31 |
| 31 | Jan | 277 | 18,6 | 67,80 |
| 28 | Fev | 199 | 13,4 | 48,78 |
| 31 | Mar | 192 | 12,9 | 47,14 |
| 30 | Abr | 76 | 5,1 | 13,27 |
| 31 | Mai | 39 | 2,6 | 6,72 |
| 30 | Jun | 13 | 0,9 | 2,24 |
| 31 | Jul | 12 | 0,8 | 2,15 |
| 31 | Ago | 15 | 1,0 | 2,60 |
| 30 | Set | 57 | 3,9 | 10,02 |
| | Total | 1489 | 100 | 350 |

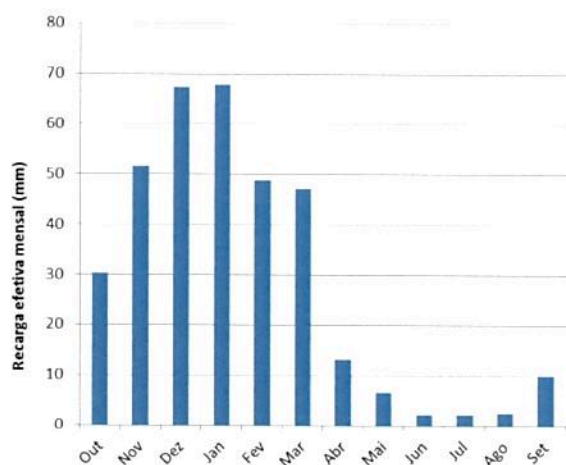


Figura 6.9: Variação sazonal anual da recarga na simulação transiente (Anos 01 a 03).



6.2.4 Resultados da Simulação Computacional

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos do modelo hidrogeológico computacional implementado.

6.2.4.1 Níveis Freáticos e Dinâmica Subsuperficial

A elevação da superfície freática obtida pelo modelo hidrogeológico computacional para os Anos 0, 1, 2, 3 e 19 são mostrados na Figura 6.10. Na Figura 6.11e na Figura 6.12 são mostradas as isolinhas de rebaixamento do lençol freático nas cavas do Ano 01, Ano 02, Ano 03 e Ano 19. Perfis verticais da distribuição piezométrica para os Anos 0, 3 e 19 são mostrados na Figura 6.13

Conforme pode ser visto na Figura 6.10, no Ano 0 (antes do início da lavra) a conformação do lençol freático é bastante similar àquela do relevo, acompanhando-o de forma suavizada. Nas partes mais elevadas, o lençol é encontrado em maiores profundidades, enquanto aflora nos talvegues, dando origem a surgência de nascentes e dos cursos d'água superficiais.

Nos primeiros três anos de operação, o rebaixamento ocorrerá somente na porção central da cava, onde a lavra será iniciada. No primeiro ano, o rebaixamento será ainda pouco expressivo e mais condensando à porção central, tendo em vista que a cava ainda será desenvolvida mais lateralmente. No segundo, o rebaixamento na porção central se intensificará, na medida em que a cava é aprofundada naquela porção. No terceiro ano, a cava passa a ser desenvolvida para norte, onde serão observados os maiores rebaixamentos.

Como não foram disponibilizadas as cavas sequenciais entre os anos 03 e 19, admitiu-se um rebaixamento linear do lençol, correspondentes à diferença entre o Ano 19 e o Ano 03, no restante da cava. O cenário de rebaixamento máximo corresponde ao final da simulação (Ano 19). Neste cenário, o rebaixamento do lençol freático abrange toda a cava licenciada. Obviamente, trata-se de um cenário conservador, no qual toda a cava necessita de rebaixamento dos níveis freáticos. Desse modo, toda a cava final estará acima do lençol freático, conforme pode ser visto nos perfis da Figura 6.13. Os rebaixamentos mais expressivos do lençol freático, no final da simulação, ocorrerão na porção Sul da cava, onde poderão a chegar a cerca de 50 m em relação à superfície atual do lençol freático, conforme pode ser visto na Figura 6.11.

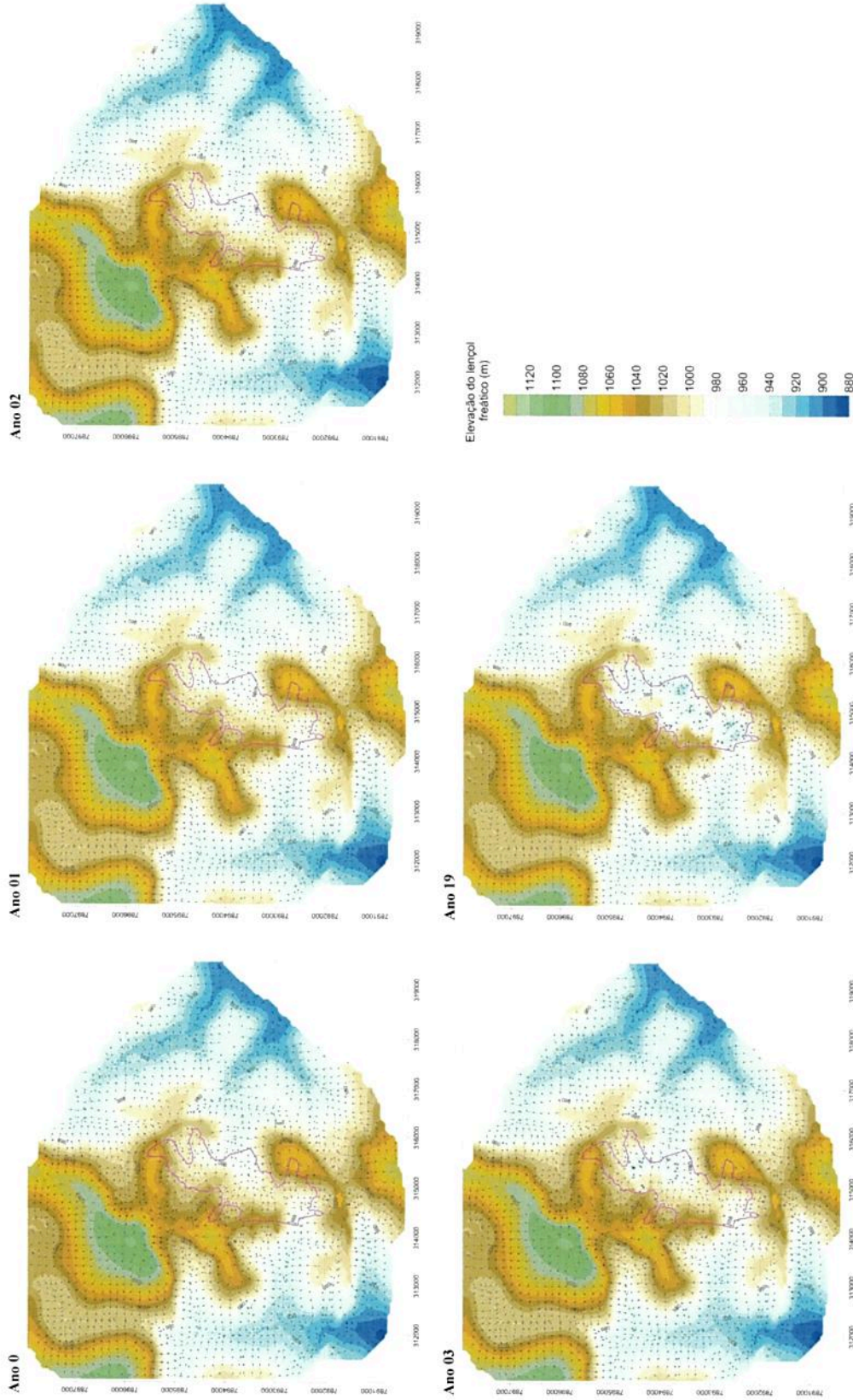


Figura 6.10: Mapas de elevação do lençol freático e do direcionamento do fluxo subsuperficial obtidos nas simulações.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0623769/2016

PÁG: 30

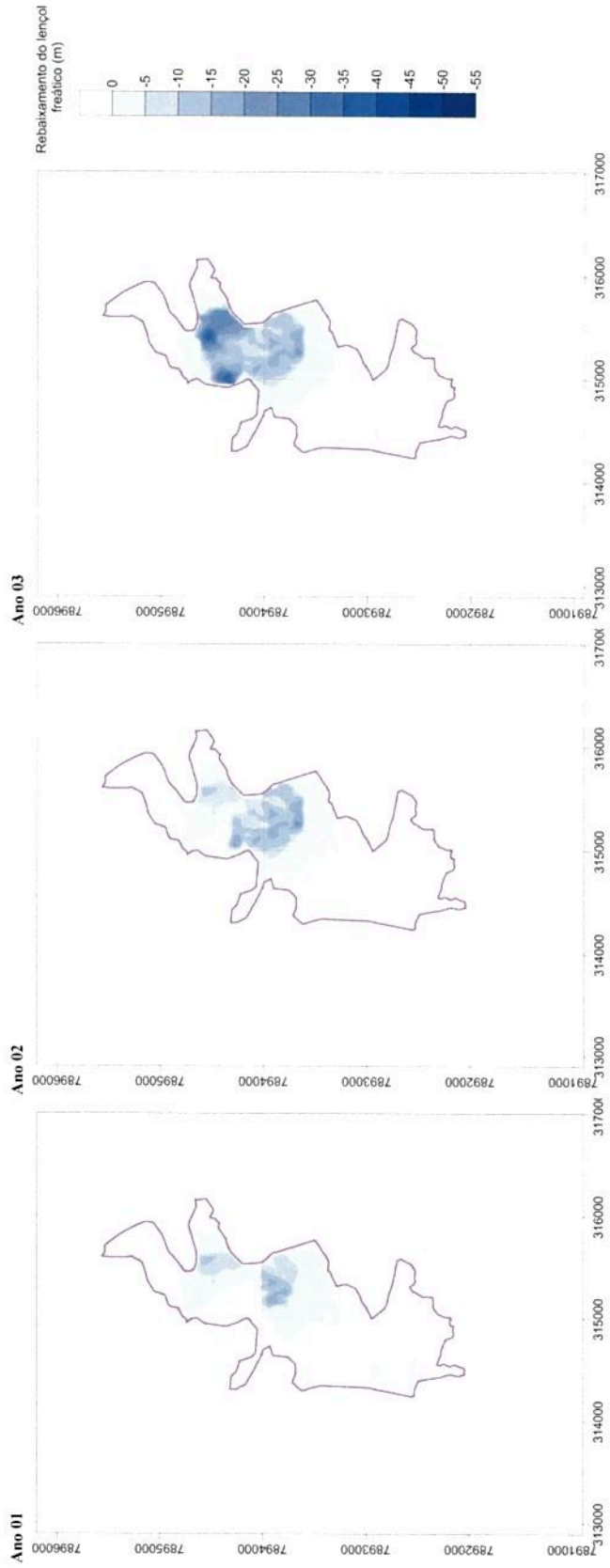


Figura 6.11: Isolinhas de rebaixamento do lençol freático entre os Anos 1 e 03.

OUTORGA 24720/2013
DOC:0623789/2016



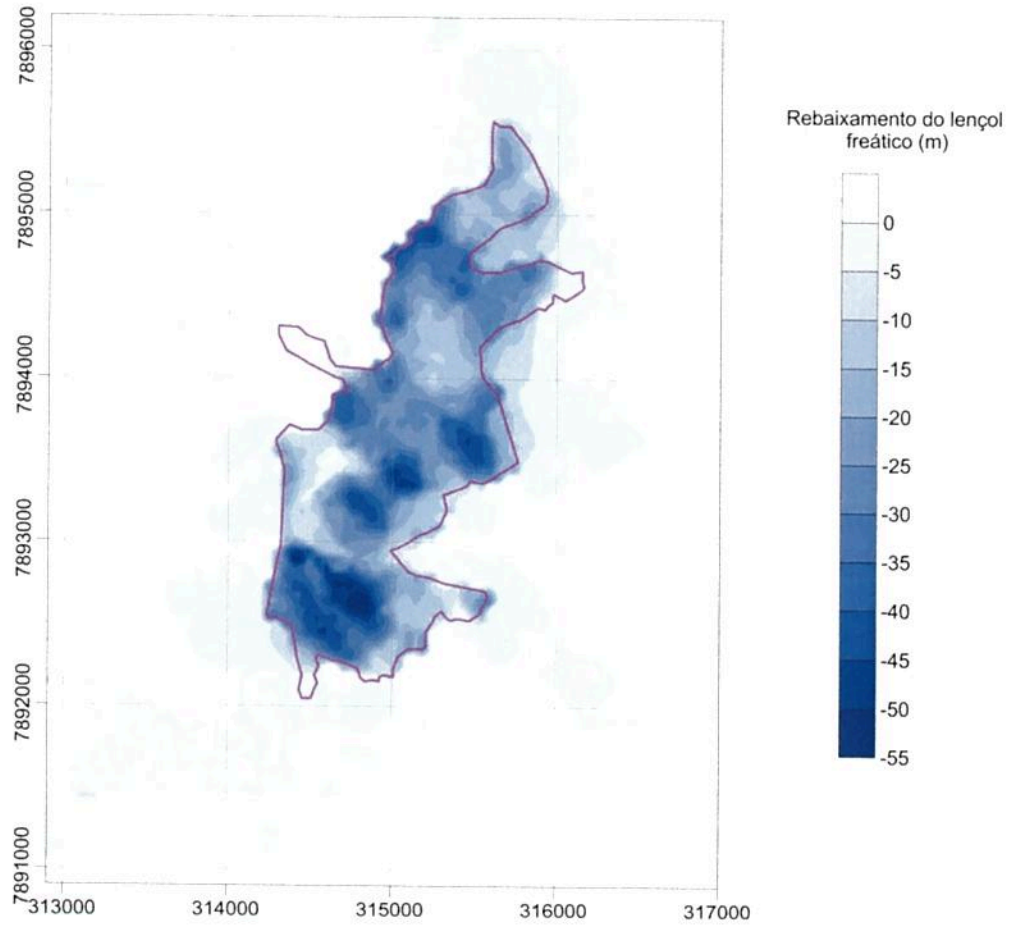


Figura 6.12: Isolinhas de rebaixamento do lençol freático no Ano 19.



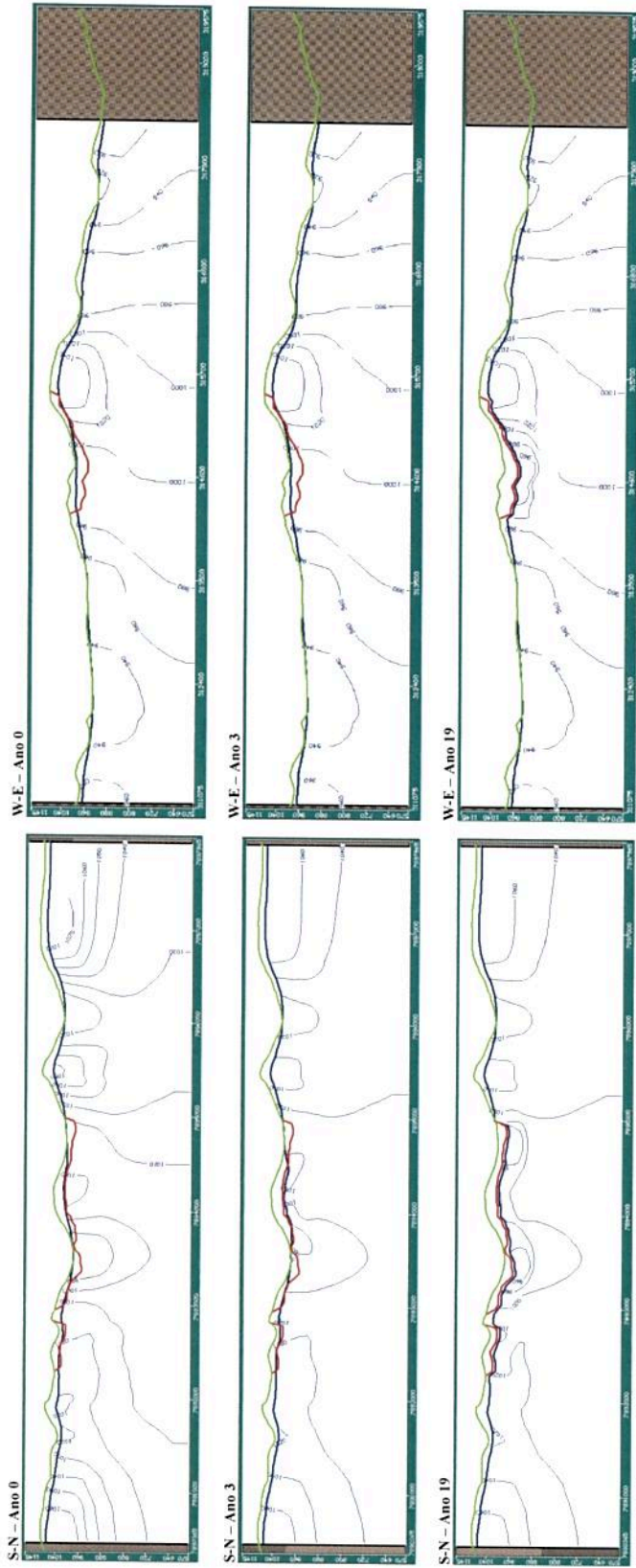


Figura 6.13: Perfil de níveis piezométricos para os Anos 0, 3 e 19: S-N (315,150E); W-E (7,765,222N). Linha verde: superfície topográfica atual. Linha vermelha: cava final (19 anos).

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016

Nas simulações de dinâmica do nível freático durante o avanço da lavra, observa-se que o rebaixamento do lençol freático permanece bastante restrito aos limites da área da cava, não se expandindo lateralmente em demasia, ou seja, o cone de rebaixamento fica praticamente restrito às bordas da cava. Tal fato decorre dos seguintes fatores:

1. As bordas da cava coincidem, via de regra, com as áreas mais elevadas do relevo – geralmente em áreas próximas dos divisores topográficos. Nesses locais, o lençol freático também forma divisores de fluxo, geralmente coincidentes com os topos do relevo, porém suavizados. Essa situação está muito bem caracterizada no perfil vertical obtido pelo modelo computacional, conforme mostrado na Figura 6.14;
2. Portanto, próximo das bordas da cava, e em terrenos mais elevados, o lençol freático somente será interceptado em profundidades maiores. Ou seja, a lavra nas regiões mais altas da cava provavelmente será desenvolvida, em grande parte, acima do lençol freático;
3. Quando o lençol freático é interceptado pela cava, em suas bordas, a interceptação ocorre já em profundidade, onde as condutividades hidráulicas dos litotipos são menores do que em superfície. Essa baixa condutividade hidráulica já havia sido constatada no teste de bombeamento realizado em 2009, em poço tubular instalado especificamente com este propósito. Conforme pode ser visto na Figura 6.14, o divisor de fluxo subsuperficial sofre muito pouca influência do rebaixamento do lençol que ocorre na área da cava.

Portanto, em escala regional e até mesmo local, o rebaixamento do lençol freático na área da cava deverá ter interferência pouco expressiva nos recursos hídricos do entorno da mina, conforme mostrado mais adiante, no item 6.2.4.3.

Por outro lado, a constatação desse rebaixamento mais restrito à área da cava sugere que a operação da lavra demandará cuidadosa verificação dos níveis de água nos taludes da cava para assegurar condições seguras de estabilidade. Na resolução em que o modelo hidrogeológico computacional é implementado, é impossível a verificação desses efeitos nos taludes intermediários (ou seja, berma a berma). Portanto, um estudo de estabilidade geotécnica dos taludes deverá indicar qual deverá ser a distância mínima a ser mantida entre a superfície freática e as faces dos taludes. Caso necessário, poderão ser adotadas soluções localizadas para alívio das pressões nos taludes, tais como drenos horizontais ou ponteiras.



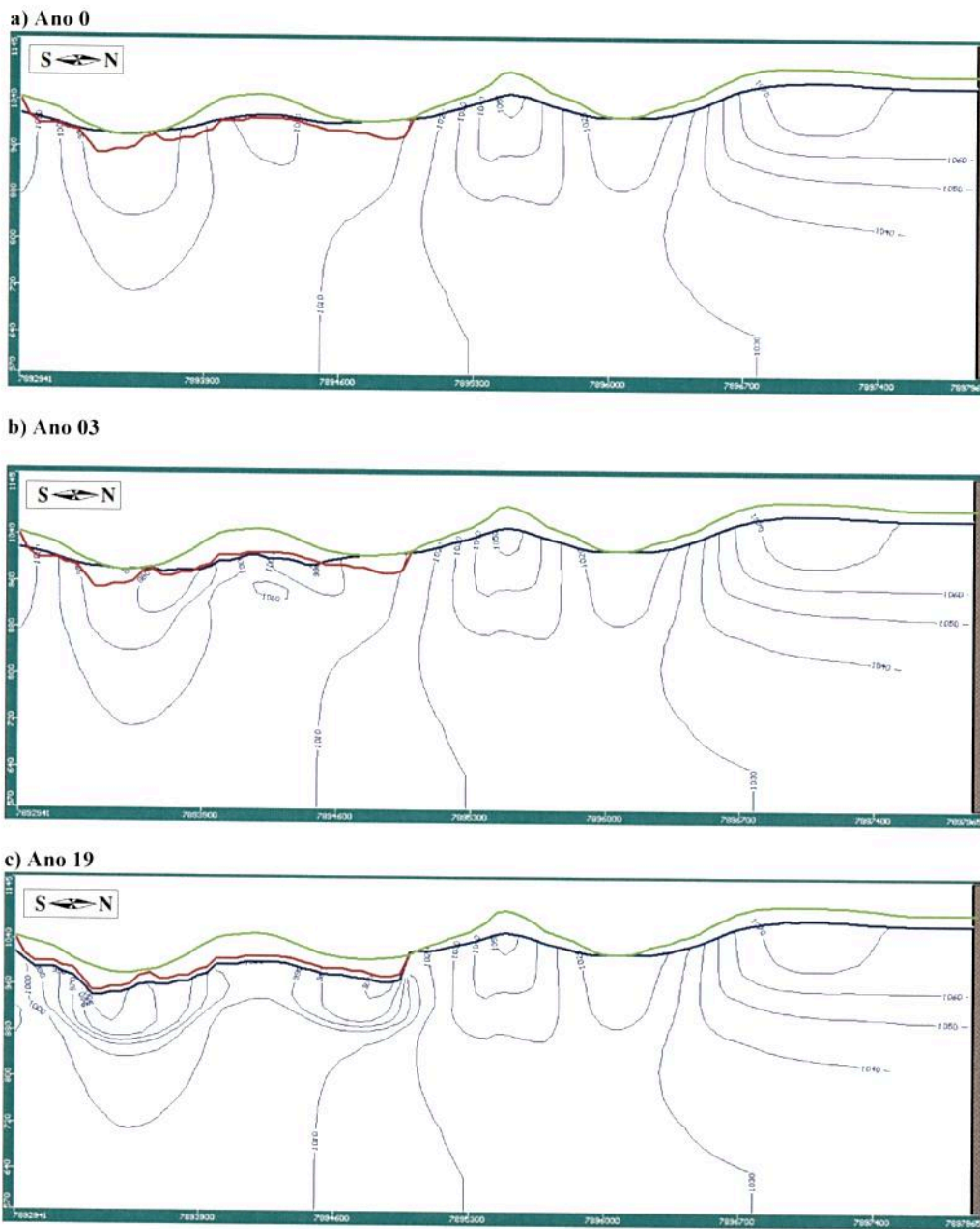


Figura 6.14: Detalhe do perfil vertical das cargas piezométricas e do lençol freático (linha azul) (S-N 315.150E): a) Ano 0; b) Ano 03; c) Ano 19. Cava final é expressa pela linha vermelha.



6.2.4.2 Vazões Oriundas do Sistema de Rebaixamento

A baixa produção de água no poço tubular construído na área do Projeto, verificada no teste de bombeamento executado em 2009, aliada à condição textural maia fina dos materiais constituintes da jazida sugerem não ser viável, pelo menos economicamente, o desaguamento da mina por meio de bombeamento ativo de água subterrânea.

Portanto, para se estimar as vazões necessárias para subsidiar o pedido de outorga de rebaixamento do lençol freático admitiu-se, neste estudo, que toda a água subterrânea deverá ser aportada para “sumps”, que são estruturas escavadas nos fundos das cavas ou em bermas intermediárias, e que se prestam também à coleta do afluxo de águas do sistema de drenagem pluvial interna da cava. Para efeito da quantificação das vazões aportadas para os “sumps”, utilizou-se, como referência, um rebaixamento de cerca de 10 m em relação ao fundo da cava e das bermas, de modo a simular condições não saturadas para o avanço da lavra.

A estimativa das vazões de água subterrânea para o sistema de rebaixamento, ao longo da operação da cava, foi quantificada a partir do balanço hídrico gerado pelo modelo computacional, sendo mostrada na Figura 6.15, cujos valores estão listados na Tabela 6.3. Ressalta-se que os valores apresentados representam somente a contribuição de água subterrânea, não sendo consideradas quaisquer parcelas referentes à drenagem de águas superficiais (pluviais), as quais foram devidamente consideradas em relatório específico (CLAM, 2017).

Conforme pode ser visto na Figura 6.15, as vazões decorrentes do rebaixamento do nível freático iniciam-se com valores da ordem de 110 m³/h, aumentando progressivamente na medida em que a cava se expande lateralmente e verticalmente. Nos anos seguintes, até o Ano 3, observa-se que as vazões do sistema de desaguamento oscilam em resposta à variação sazonal da recarga e verificam-se pequenos acréscimos das vazões máximas anuais estimadas. No Ano 03, verifica-se maior aporte de água subterrânea para a cava em função de uma maior expansão da lavra para regiões da cava em solo saturado.

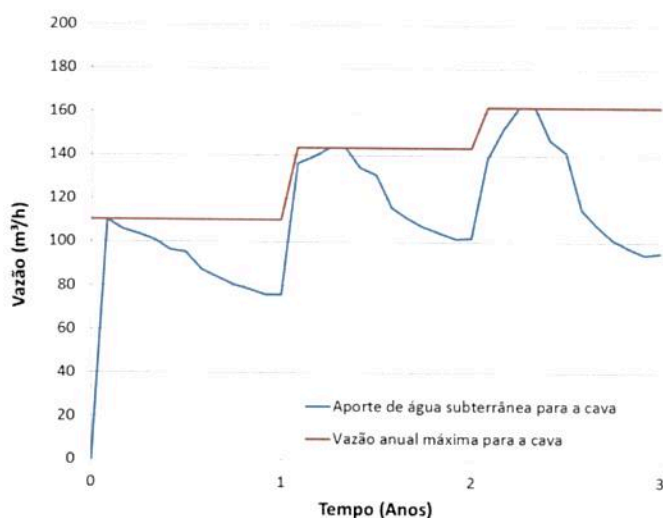


Figura 6.15: Estimativa sazonal e anual máxima das vazões de água subterrânea para o sistema de desaguamento da cava.

Tabela 6.3: Valores anuais máximos previstos para o desaguamento de águas subterrâneas na cava

| Ano | Vazão (m³/h) |
|-----|--------------|
| 0-1 | 110 |
| 1-2 | 144 |
| 2-3 | 162 |

Somente com a definição do seqüenciamento anual das cavas entre os Anos 4 e 19 será possível estimar os valores estimados de desaguamento subsuperficial.

6.2.4.3 Vazões dos Deflúvios Naturais

Os escoamentos de base dos cursos d'água calculados no modelo hidrogeológico correspondem tão somente a um balanço hídrico (neste caso, negativo) da água subterrânea, computada no modelo, como uma vazão que "sai" do sistema aquífero (e que, uma vez fora desse sistema, deixa de ser computada definitivamente). Posto de outra forma: os valores do escoamento de base estimados nos deflúvios correspondem à água subterrânea que deixa o sistema aquífero pelos eixos das drenagens, passando a ser uma água que esco superficialmente. Na Figura 6.17 é mostrada a definição das zonas de balanço hídrico que correspondem aos deflúvios superficiais naturais no entorno da cava do Projeto Salitre.

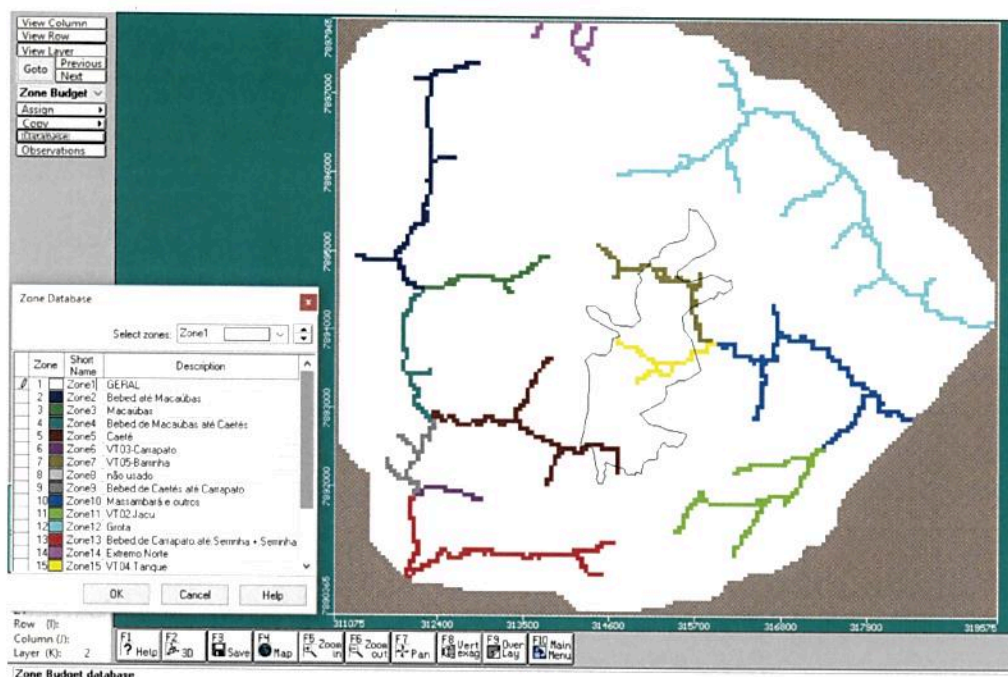


Figura 6.16: Tela do software Visual MODFLOW mostrando a definição das zonas de balanço hídrico para cálculo das vazões nos deflúvios.

Pode-se dividir os cursos de águas superficiais na área de interesse em três categorias:

1. aqueles que terão seus eixos de drenagem e/ou suas bacias de contribuição afetados diretamente pelas operações de lavra, ou seja, que terão áreas efetivamente suprimidas pela lavra. São eles: córrego Barrinha (na porção Norte), córrego do Tanque (na porção Central) e córrego Caeté (nas porções Sul e Oeste);
2. aqueles que possuem parte de sua bacia de contribuição em áreas afetadas pela lavra. Nesta categoria incluem-se os córregos Carrapato e Macaúbas, além do córrego Bebedouro, que recebe contribuição dos dois primeiros; e,
3. aqueles cujos eixos de drenagem e/ou áreas de contribuição estarão fora do alcance das operações de lavra, tais como os córregos Serrinha, Jacu, e da Grota.

Pelo mapa da Figura 6.17, é possível observar a posição da cava – para os anos iniciais (Ano 05) e para a cava de exaustão (Ano 20) – em relação aos cursos d'água mencionados.

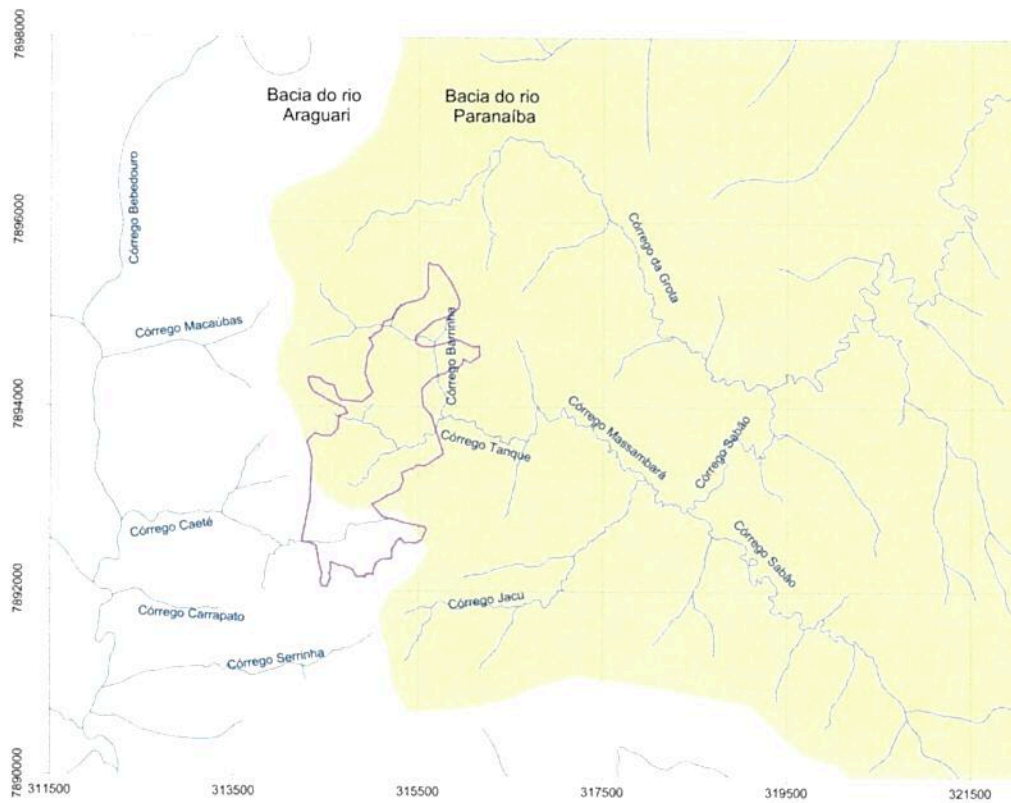


Figura 6.17: Mapa da posição relativa da cava em relação aos principais cursos d'água na área de interesse.

A estimativa da variação das vazões do escoamento de base (água subterrânea somente) para os deflúvios superficiais, obtida com base no balanço hídrico gerado pelo modelo hidrogeológico computacional, é mostrada na Figura 6.18.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016

PÁG.109

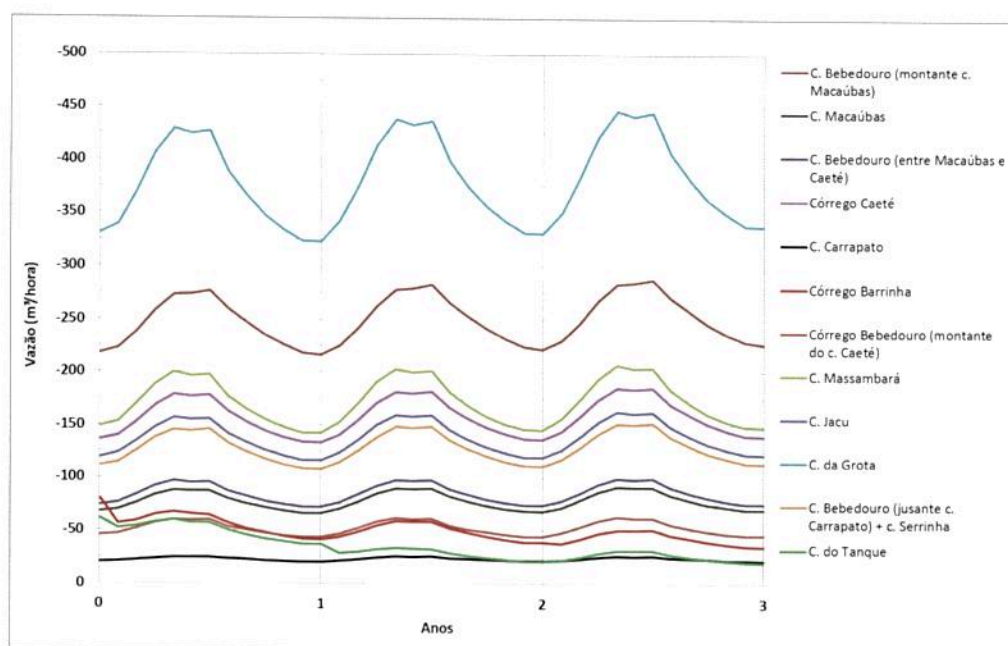


Figura 6.18: Estimativa das vazões do escoamento de base nos deflúvios.

Os cursos d'água que terão seus escoamentos de base mais afetados serão justamente aqueles que terão áreas suprimidas pela atividade de lavra, conforme esperado. Percebe-se claramente que as vazões de deflúvio subsuperficial para o córrego do Tanque serão as primeiras a sofrerem redução (Figura 6.18), em função do desenvolvimento inicial da lavra, que será realizada nas suas proximidades (Figura 6.17). A partir do Ano 2, com o avanço da lavra em direção à sua porção Norte, o córrego Barrinha deverá ser o próximo a ter seu escoamentos de base afetado em função do rebaixamento necessário à lavra. No caso desses cursos d'água, diretamente afetados pela lavra, a redução do escoamento de base se dará não só pelo desaguamento do aquífero, necessário para a operação da mina, mas também pela própria supressão do aquífero em si, ou seja, da capacidade de armazenamento subsuperficial de água.

Para as demais drenagens que poderiam ser afetadas diretamente pela atividade de lavra, o balanço hídrico obtido do modelo (representado graficamente na Figura 6.18) sugere que praticamente não haverá interferências no escoamento de base natural que flui para esses cursos d'água nos três primeiros anos de operação da cava.

No caso de drenagens que não têm suas bacias de contribuição diretamente ou indiretamente afetadas pelas operações de lavra, (córregos da Grotta, Serrinha e Jacu), o modelo computacional sugere não haver praticamente nenhuma interferência nas vazões de escoamento de base, resultantes do desaguamento da cava. Tal fato, novamente, está em concordância com a baixa

magnitude de dispersão lateral do cone de rebaixamento da superfície freática prevista pelo modelo computacional.

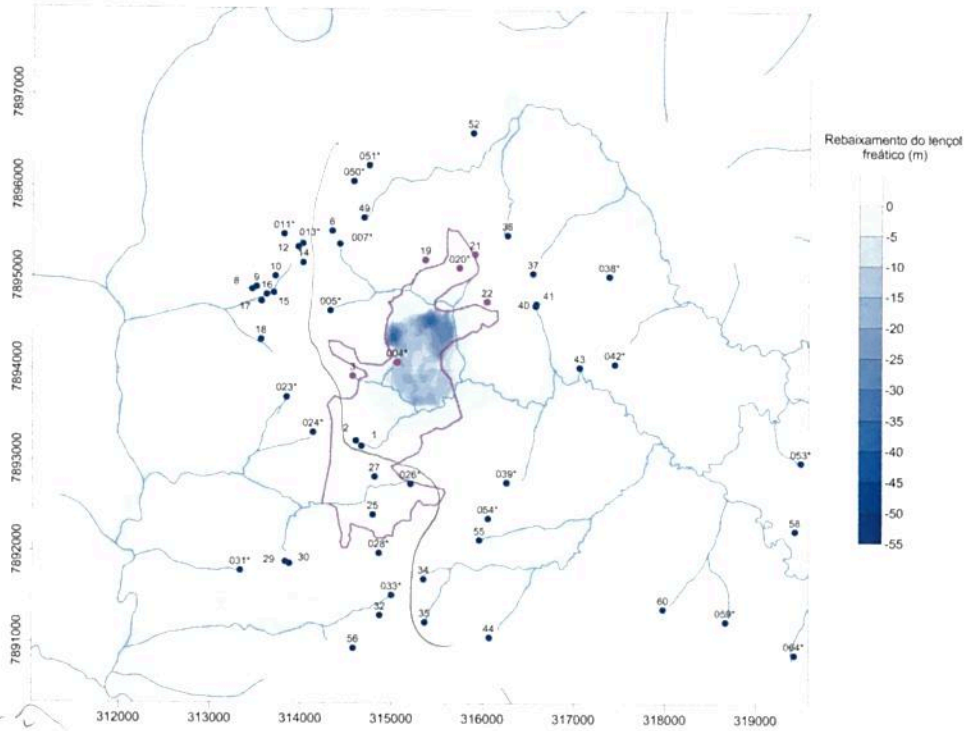
Os impactos no escoamento superficial dos deflúvios, decorrentes da redução do escoamento de base, seriam muito próximos àqueles mostrados na Figura 6.18 caso a água subterrânea captada pelo sistema de rebaixamento da cava fosse desviada para outra micro-bacia ou destinada para outros usos (industriais, por exemplo). Entretanto, há que se ressaltar que, na prática, o sistema de desaguamento da cava prevê o lançamento das águas acumuladas nos “sumps” (provenientes tanto do sistema de drenagem superficial da cava quanto do rebaixamento do lençol freático) para pontos localizados nas mesmas drenagens que serão afetadas pela cava; porém, a jusante das operações de lavra (CLAM, 2017). Ou seja, as perdas de água nessas drenagens oriundas da redução escoamento de base, evidenciadas no modelo computacional, não se concretizarão na realidade, uma vez que, mantida essa premissa, haverá uma reposição das águas, dos “sumps”, localizados no interior da cava, para as drenagens, na parte exterior. Portanto, no balanço hídrico geral, essas drenagens, a jusante da cava, não deverão sofrer reduções das vazões.

6.2.4.4 Interferências nas Nascentes

No que se refere às nascentes existentes no entorno da mina, é certo que uma parte delas será suprimida em função da própria lavra, cuja natureza é remover o solo local para extração o minério. Assim, todas as nascentes localizadas no interior da cava serão efetivamente suprimidas (Figura 6.19). Outra parte das nascentes poderá ser afetada pela atividade da mina, pela proximidade da cava, sendo afetadas pelo rebaixamento do lençol freático. Nesse caso, poderá haver desde a total supressão das vazões nessas nascentes, ou, o seu deslocamento para cotas mais inferiores. Por fim, diversas nascentes não deverão ser afetadas pelo fato de o cone de rebaixamento previsto não se estender muito além do limite da cava.

Sendo assim, com base nos mapas de isolinhas de rebaixamento do lençol freático mostrados na Figura 6.19, as seguintes nascentes poderão ser impactadas no Ano 03: 03, 04, 19, 20, 21 e 22. No Ano 19 a interferência do rebaixamento poderá alcançar as nascentes 01, 02, 24, 25, 26, 27 e 28.

Ano 03



Ano 19

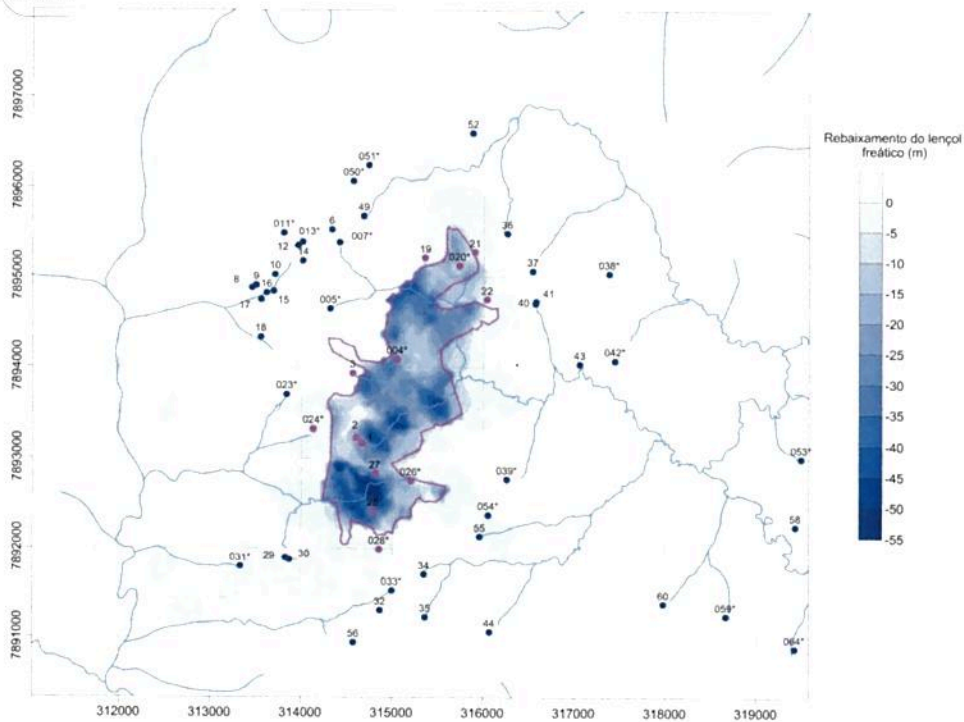


Figura 6.19: Mapa mostrando as nascentes que serão afetadas pela lavra (círculos em magenta) e nascentes que não serão afetadas (círculos azuis), com base no rebaixamento do lençol freático previsto dos anos 03 e 19.



7 PLANO DE USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O sistema de desaguamento de águas subterrâneas prevê a concentração de águas em “sumps” que serão escavados nos fundos da cava, na medida em que a lavra avance em profundidade e lateralmente. Esses “sumps” também receberão a parcela da drenagem pluvial que não é passível de ser retirada da cava por gravidade (por meio de descidas e canais – coletores e periféricos).

Para os anos iniciais (Ano 01 a Ano 03), esse sistema encontra-se devidamente descrito no Relatório CL-HC-238-REL-01-00 - Estudos Hidrológicos e Hidráulicos para Dimensionamento do Sistema de Desaguamento e Drenagem Superficial da Cava do Projeto Salitre – Anos 1 a 3 (CLAM, 2017). Nesse estudo, chegou-se à conclusão de que as águas coletadas nos “sumps” das cavas iniciais poderão ser bombeadas ou diretamente para os canais coletores de drenagem superficial (escoando para fora da cava por gravidade a partir daí) ou para pontos dos córregos Barrinha e Tanque, imediatamente a jusante do limite da cava. É esperado que esses “sumps” sejam capazes de concentrar a maior parte das águas subterrâneas que ocorrem na área da cava. Em situações específicas, onde for necessário algum desaguamento mais ativo (por razões geotécnicas, por exemplo), ainda assim as águas advindas desses sistemas auxiliares serão encaminhadas para os canais de drenagem superficial ou para os “sumps”.

A reposição dessas vazões coletadas nas cavas iniciais (Anos 1 a 3) para os córrego Barrinha e Tanque é muito importante para a manutenção dos seus deflúvios naturais, conforme discutido no item 6.2.4.3, principalmente quando se considera a sua contribuição para o armazenamento de água no reservatório da barragem de rejeitos do Projeto, que terá também a função de suprir água nova para a usina de beneficiamento. Caso as vazões da cava fossem direcionadas para outro uso (para suprir a usina ou para reposição em outra micro-bacia), haveria a necessidade de se rever todo o estudo de disponibilidade hídrica para a barragem. Além disso, o direcionamento das águas provenientes do sistema de drenagem e desaguamento da cava para a barragem de rejeitos contribuirá para a contenção dos sedimentos gerados na cava, os quais serão retidos na própria barragem.

O modelo aqui desenvolvido não prevê interferências significativas para as vazões dos deflúvios no córrego Macaúbas, cuja micro-bacia praticamente não é afetada pela lavra. Dessa forma, não estão previstas ações complementares em relação a este curso d'água, recomendando-se apenas seu monitoramento de forma sistemática.

No restante da área onde será lavrada a cava, está claro que os córregos do Tanque e dos Caetés (quando da expansão da lavra para a área licenciada na sua bacia de contribuição) também deverão ser objeto de medidas para manutenção dos seus deflúvios, em função da contribuição de cada um para as suas respectivas micro-bacias. O córrego do Tanque, juntamente com o córrego Barrinha, contribui significativamente para os deflúvios que deságuam na barragem de rejeitos, que será a principal estrutura de captação de água nova para a usina de beneficiamento da mina. Já o córrego dos Caetés tem significativa contribuição para a micro-bacia do córrego Bebedouro que, por sua vez, faz parte da micro-bacia do Ribeirão Salitre, da qual se beneficiam um grande número de usuários de água.

Portanto, de forma análoga ao realizado para o córrego Barrinha, deverá ser previsto, nos futuros estudos de desaguamento para os anos 04 a 19, o direcionamento das vazões oriundas dos canais – coletores e periféricos – e dos “sumps” para pontos a jusante do limite da cava, no córrego do Tanque e no córrego dos Caetés. A setorização da cava deverá observar tais direcionamentos, buscando manter a proporcionalidade das áreas de contribuição de cada micro-bacia, de forma que não fiquem prejudicadas as parcelas atualmente direcionadas para cada corpo d'água. Tal setorização, entretanto, somente poderá ser avaliada quando as configurações geométricas das cavas anuais estiverem definidas.

Para os demais córregos no entorno da cava não estão previstas interferências advindas da lavra ou do rebaixamento do lençol freático, conforme sugerido pelo modelo computacional. Neste sentido, não são definidas ações complementares, recomendando-se, de toda maneira, o seu monitoramento sistemático.

Portanto, o Plano de Uso das Águas Subterrâneas provenientes do rebaixamento do lençol freático na área da cava do Projeto Salitre deverá prever a sua reposição para os deflúvios naturais (córregos Barrinha, do Tanque e dos Caetés), procurando manter, na medida do possível, a proporcionalidade de vazões atualmente verificada, de forma a não prejudicar os usos previstos de jusante, seja na barragem de rejeitos, seja na micro-bacia do ribeirão Salitre.



8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório foram apresentados os estudos hidrogeológicos elaborados para subsidiar o pedido de outorga de rebaixamento de lençol freático em cava de mineração, para o Projeto Salitre, de propriedade da GALVANI. Mais especificamente, neste relatório foi apresentado o modelo computacional que simula a hidrodinâmica do aquífero local e a evolução do rebaixamento do lençol freático para viabilizar o desenvolvimento da lavra na cava do Projeto, ao longo dos três primeiros anos de operação da mina.

Buscou-se aqui organizar e condensar a maior parte das informações necessárias para a compreensão do contexto hidrogeológico local, as quais foram obtidas de estudos já realizados entre os anos de 2008 e 2010. Não se pretendeu, entretanto, esgotar toda a gama de informações geradas, as quais estão facilmente disponíveis em uma série de relatórios gerados para o Projeto ao longo dos últimos anos.

Para a elaboração do pedido de outorga, também deverão ser consultadas as informações fornecidas no relatório CL-HC-238-REL-01-00 (CLAM, 2017), no qual se considera o sistema de drenagem de águas pluviais que incidem sobre a cava (Anos 1 a 3) e com o qual este relatório contribui, fornecendo os dados de aporte de águas subterrâneas para o referido sistema. Os dispositivos e estruturas responsáveis pelo desaguamento, tanto das águas superficiais e como das águas subterrâneas, são descritos naquele relatório.

Nas simulações aqui realizadas, não foi considerado o descomissionamento de nenhuma região da cava, por se entender que a definição desses cenários ainda é muito prematura na atual fase do Projeto. Em fases posteriores, é possível que o Plano Diretor da Mina preveja a disposição de estéril nas cavas já exauridas ou a recomposição de alguma porção das cavas. Nessa ocasião, o modelo hidrogeológico computacional poderá ser atualizado para representar tais situações.

OUTORGA: 24720/2016

DOC:0823789/2016



PÁG: 115

9 REFERÊNCIAS

Anderman, E. R. & Hill, M. C. 2003. MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – Three Additions to the Hydrogeologic-Unit (HUF) Package. USGS Open File Report 03-347.

Anderson, M. P. & Woessner, W. W. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. 1991.

CLAM ENGENHARIA HIDROCNESA - Parecer Técnico Sobre a Visita de Reconhecimento de Campo. Relatório CL-HC-067-REL-001-00. 2012.

CLAM ENGENHARIA HIDROCNESA - Estudos Hidrológicos e Hidráulicos para Dimensionamento do Sistema de Desaguamento e Drenagem Superficial da Cava do Projeto Salitre – Anos 1 a 3. Relatório CL-HC-238-REL-01-00. 2017.

VOGBR - Relatório de Caracterização Hidrogeológica das Áreas da Cava e da Barragem de Rejeitos. Projeto Salitre 1 e 4. Relatório 4GALV001-1-HG-RTE-0001. 2009.

VOGBR - Relatório do Ensaio de Bombeamento Realizado no Poço PT01 em Serra do Salitre – MG. Relatório 4GALV001-1-HG-RTE-0005. 2010.

VOGBR - Monitoramento hidrogeológico do Projeto Serra do Salitre. Relatório Trimestral. Dezembro 2009 / Janeiro e Fevereiro 2010. Relatório 4GALV001-1-HG-RTE-0006. 2010.

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016


PÁG 116

10 EQUIPE TÉCNICA

A equipe técnica responsável pelos trabalhos é listada na Tabela 10.1.

Tabela 10.1: Lista da equipe técnica responsável para desenvolvimento dos trabalhos

| Profissional | Categoria Profissional | Atuação |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Leonardo Oliveira CREA 66.312/D | Engenheiro Civil | Coordenação Técnica e elaboração do relatório |
| Antônio Teixeira Cabral CREA 80.711/D | Mestre em Engenharia de Meio Ambiente | Elaboração do modelo hidrogeológico computacional |
| Rafael Reis | Geografia (Estagiário) | Geoprocessamento e elaboração de mapas e figuras |

OUTORGA 24720/2016
DOC:0823789/2016



PÁG:117