

ELABORAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL PARA ESTUDO DE REBAIXAMENTO DE CAVA DE MINA, CAAPORÃ-PB

Rayssa Mendes¹; Diógenes Pampollini²; Baruc Costa³; Michel Fontes⁴

Resumo – A fim de subsidiar a elaboração de um plano de rebaixamento de cava na Mina Miramar localizada em Caaporão-PB, foi realizado um estudo hidrogeológico em nível conceitual da região. O método de estudo envolveu, além das considerações em âmbito regional, avaliação de caixas de testemunhos de sondagens existentes, um mapeamento geológico estratigráfico e de estruturas rúpteis com a finalidade de analisá-las e associa-las com a direção dos fluxos de água subterrânea. Foram discretizadas 9 (nove) unidades litoestratigráficas que compõem 2 (dois) sistemas de aquíferos distintos, sendo o aquífero superior poroso, granular e eficiente (composto pelo arenito da Formação Barreiras) e o aquífero fraturado pouco permeável e pouco eficiente (calcários da Formação Gramame). A luz dos aspectos hidrogeológicos e estruturais foi possível concluir que o aquífero situado em cotas superiores encontra-se selado por uma delgada camada impermeável de argilito, produto de alteração da margá, enquanto o aquífero situado em camadas inferiores apresenta direção preferencial de fraturamento (FR: N35E/82NW e FR2: N60W/78NE), entretanto sem surgências relevantes de água. De maneira a suportar melhor os estudos, é sugerido um plano de investigação geofísica composto por 4 linhas de levantamento geofísico terrestre por meio de sondagens elétricas verticais, 9 linhas de levantamentos geofísico terrestre equidistantes e 4 furos de sondagens rotativas com 32 ensaios de perda d'água a fim de aferir o nível freático

Abstract – In order to support the elaboration of a pit lowering plan at the Miramar Mine located in Caaporão-PB, a conceptual hydrogeological study of the region was carried. In addition to regional considerations, the study involved evaluation of existing borehole drill core boxes, a stratigraphic, faults and cracks geological mapping in order to analyze and associate them with the direction of groundwater flows. Nine (9) lithostratigraphic units were discretized, comprising 2 (two) distinct aquifer systems, the upper porous, granular and efficient aquifer (consisting of the Barreiras Formation sandstone) and the poorly permeable and inefficient fractured aquifer (limestones of the Gramame Formation). In light of the hydrogeological and structural aspects, it was possible to conclude that the aquifer located in higher levels is sealed by a thin impermeable layer of clay, a product of marl alteration, while the aquifer located in lower layers presents a preferential direction of fracturing (FR: N35E/82NW and FR2: N60W/78NE) however without relevant upwelling. Finally, a geophysical investigation plan is suggested, consisting of 4 lines of terrestrial geophysical survey through vertical electrical soundings, 9 lines of equidistant geophysical surveys on land and 4 rotating drilling holes with 32 water loss tests in order to assess the water table

Palavras-Chave – Hidrogeologia, aquíferos fraturado, aquífero suspenso, calcários, investigação geofísica, eletrorresistividade, nível freático.

1 Geól., FONNTES GEOTÉCNICA, Belo Horizonte - MG, (31) 3582-9186, rayssa.costa@fonntesgeotecnica.com

2 Geól., MSc, Universidade Federal de Minas Gerais - MG, (31) 8806-9891, diogenesgeologo@gmail.com

3 Hidról., EMPRESA: FONNTES GEOTÉCNICA, Belo Horizonte - MG, (31) 3582-9186, baruc.costa@fonntesgeotecnica.com

4 Diretor., EMPRESA: FONNTES GEOTÉCNICA, Belo Horizonte – MG, (31) 3582-9186, michel@fonntesgeotecnica.com

1. INTRODUÇÃO

Localizada em Caaporã, no Estado da Paraíba, sob domínios da bacia hidrográfica do Rio Abiaí, a Mina Miramar (295.511E e 9.167.954S) é a oitava maior produtora de calcário do país, com capacidade instalada de aproximadamente 2 milhões de t/ano. Nestes ambientes é muito comum a necessidade de estudos aprofundados, buscando-se compreender as características hidrogeológicas presentes na região de atuação do empreendimento mineral de maneira a compreender a influência destas operações no aquífero local e vice-versa. Estes estudos tem por princípio a conjugação do arcabouço estrutural correlacionados a interpretação do fluxo subterrâneo influenciado diretamente por este primeiro, e como as operações relacionadas ao extrativismo mineral podem interferir no comportamento dos aquíferos locais. No referido estudo de caso, localizado em uma região limitada de informações, o entendimento da geologia regional, a boa caracterização da geologia local, a avaliação da fenomenologia dos fluxos subterrâneos e sua influência direta na definição da morfologia do terreno podem conferir um elevado grau de assertividade aos resultados. Assim sendo, para que o plano de lavra da Mina Miramar seja executado, é necessário que haja um rebaixamento da cava atual, sendo portanto, necessário avaliar o comportamento do lençol freático, e eventual influência do rebaixamento da cava na interação com o mesmo, sendo em casos semelhante, estabelecer sistemas complexos de bombeamento e rebaixamento do lençol freático de modo a viabilizar a operação de lavra. Para tal foram identificadas, discretizadas e caracterizadas as unidades hidroestratigráficas existentes no contexto de cava atual e projeção da cava final. Diante dos resultados obtidos realizou-se a elaboração do modelo hidrogeológico da área, propondo de forma complementar e de forma a validar os estudos aqui presentes um plano de investigação geofísica com a finalidade de fomentar as próximas etapas do projeto.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Geologia Regional

A área de estudos insere-se integralmente no contexto de rochas pertencentes à Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba (CPRM, 2000), mais precisamente na sub-bacia Alhandra que, conforme Souza (2006), possui embasamento constituído por ortognaisses e migmatitos de alto grau intrudidos por corpos gabróicos ou gabroanortosíticos de idade paleo a mesoproterozoica.

Sobreposto ao embasamento são encontrados os arenitos, de granulação média a grossa, referentes à Formação Beriberibe (Base do Grupo Paraíba). Sobreposta de forma gradual e/ou interdigitada à Formação Beriberibe, ocorre a Formação Gramame, na qual encontra-se o calcário lavrado na Mina Miramar, sendo este essencialmente constituído por calcários, calcários margosos e margas, onde depositaram-se estratos fossilíferos ricos. O período deposicional foi marcado por um ambiente de plataforma rasa e de baixa a moderada energia. Através de uma discordância existente na porção superior da Formação Beriberibe, é possível elucidar uma tendência regressiva do nível do mar, e conseqüente redução da fauna de invertebrados e deposição de sedimentos terrígenos. A discordância em questão constitui um elemento de importância para a elaboração do modelo hidrogeológico, uma vez que interfere no processo de acumulação de água subterrânea e formação de aquíferos na área do empreendimento.

Os sedimentos do Grupo Barreiras ocorrem recobrando os litotipos da Formação Gramame, e são constituídos por sedimentos de origem continental pouco litificados, oriundos da ação do intemperismo e ciclos geológicos ocorridos no interior do continente após a abertura do Atlântico (MABESONE e CASTRO, 1975). Os estratos apresentam variações verticais e laterais bem marcadas que variam em níveis arenosos, argilo arenosos, conglomeráticos e ferruginosos.

2.2. Geologia Local

Buscando elucidar sobre a estratigrafia local, bem como as camadas confinantes de água e existência de aquíferos, buscou-se analisar os principais furos de sondagens executados no entorno do empreendimento, conforme apresenta a Figura 1.

Além das sondagens analisadas foram levantados 90 pontos de mapeamento hidrogeológico, registrados, sobretudo, em regiões de descontinuidades representativas e contatos geológicos. As unidades litoestratigráficas e principais estruturas encontradas são detalhadas a seguir.

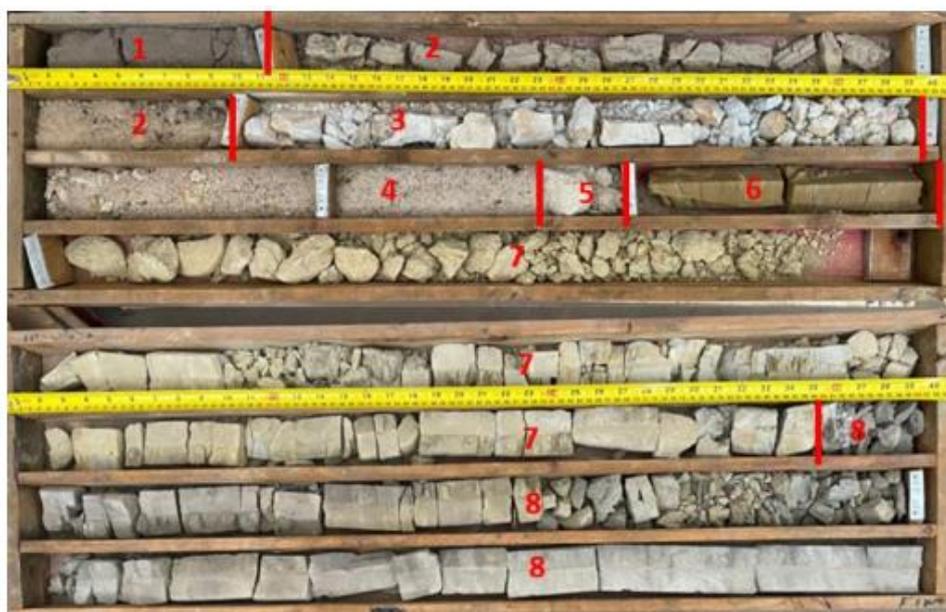


Figura 1. Primeiras duas caixas de testemunhos de sondagens representativas para a região. Em 1- Horizonte A, 2- Solo Residual/Saprólito, 3- Fácies Argilosa do Grupo Barreiras, 4- Fácies Arenosa do Grupo Barreiras, 5- Conglomerado, 6- Argilito, 7- Marga, 8- Calcário Superior).

2.2.1 Unidades Litoestratigráficas e Estruturas

A partir dos dados levantados em campo e das informações obtidas através da averiguação dos testemunhos de sondagem, pode-se concluir que a região da Mina Miramar contempla 9 (nove) litotipos distintos, sendo eles: coberturas cenozóicas, conglomerados, arenitos e argilitos pertencentes ao Grupo Barreiras, argilito, calcários inferiores, calcários superiores, margas, pertencentes a Formação Gramame.

Recobrando a área não lavrada do empreendimento, são encontradas coberturas cenozóicas de origem autóctone e alóctone, sendo a primeira representada pelo horizonte A desenvolvido a partir da interação solo e matéria orgânica e o segundo por colúvios e solos residuais.

Compondo a porção superior, foram discretizados litotipos componentes do Grupo Barreiras, em duas distintas fácies: Fácies arenito e fácies argilito. A fácies arenito possui coloração variando entre creme e avermelhado, matriz arenosa, contendo grãos de quartzo e localmente é possível encontrar caulinita. Possui estratificação pouco nítida, podendo intercalar lateralmente com material sílico argiloso, denominado aqui de "Fácies argilito". Descontínuos seixosos (conglomeráticos) são encontrados com frequência, sendo vislumbrados principalmente como lentes.

O nível conglomerático, assim como o arenito de matriz areno siltosa, fazem parte de um sistema de aquífero suspenso delimitado por um argilito (aquifugo, produto de alteração da marga) maciço de coloração esverdeada. A Figura 2. apresenta a litofácies em questão.

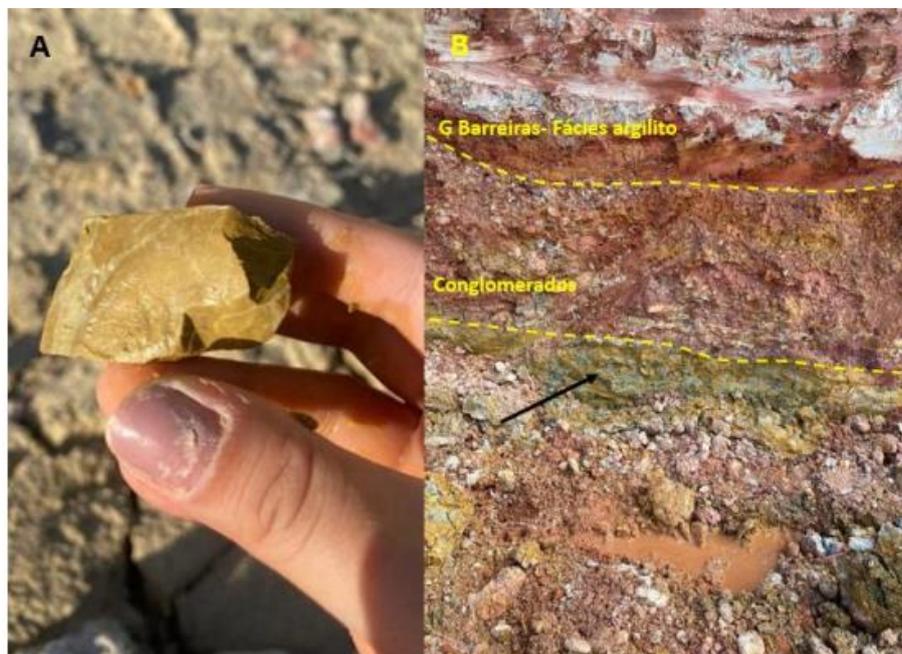


Figura 2. Em (A) amostra de mão do argilito. Em (B) o argilito é apontado pela seta preta.

Representando a Formação Gramame e compondo o aquífero fraturado foram discriminados os seguintes litotipos: Marga, Calcário Superior e Calcário Inferior.

A marga possui coloração bege, espessura da ordem de 3 m e o contato com o Calcário Superior se deu de forma gradacional (Figura 3.). O Calcário Superior é caracterizado pela coloração cinza clara, acamamento plano-paralelo e espessura aproximada de uma bancada (10 m), apresenta localmente em sua matriz calcitas subédricas e sulfetos de ferro. Devido a sua natureza é possível determinar inúmeras descontinuidades que se encontram saturadas e identificam um aquífero fissural na unidade. O calcário inferior possui famílias de fraturas de menor persistência aos observados no superior, acamamento plano-paralelo e são distintas intercalações métricas de marga fossilíferas.



Figura 3. Em (A), amostra de mão da marga. Em (B), contato gradacional entre a marga sobre calcário superior, ambos pertencentes à Formação Gramame.

Foram identificadas duas estruturas principais presentes no calcário da cava Miramar, o plano de acamamento (S0), que ocorre sub-horizantalizado com uma leve tendência de mergulho para Leste e duas famílias de fraturas, sendo ambas bem verticalizadas. Ao se confrontar as informações estruturais de lineamentos em escala macro e local, é possível identificar que a direção preferencial NE-SW se destaca em ambos, sendo essa assim, a direção preferencial do fluxo. A Figura 4. apresenta a coluna estratigráfica desenvolvida a partir das análises de campo.

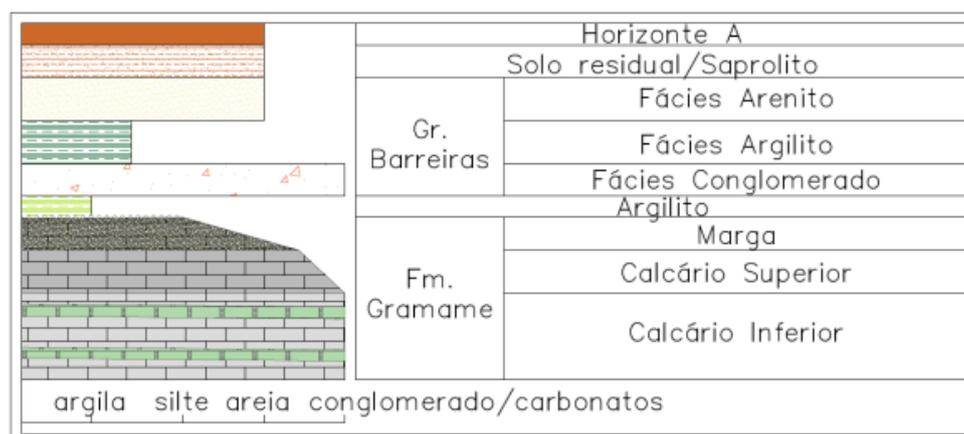


Figura 4. Coluna estratigráfica local, desenvolvida pelos autores.

2.2.1 Hidrogeologia Local

A partir dos dados obtidos em campo por meio do mapeamento geológico, somados às informações dos furos de sondagem, foi possível identificar e classificar a área de estudos em dois tipos de aquíferos distintos: um do tipo livre granular, com relevante volume d'água, o qual é registrado pela descarga do N.A. nos taludes de corte remanescentes nas rochas e saprólitos da Fm. Barreiras; e outro do tipo fraturado, situado abaixo de uma delgada camada de argila com comportamento de aquífero existente na base do aquífero livre granular.

Destaca-se que nesse segundo tipo de aquífero não fora verificado a presença do nível d'água aflorante. O aquífero seco fraturado é representado pelas rochas calcárias calcíticas laminadas da Fm. Gramame e a camada selante subjacente é composta por uma extensa camada centimétrica de argila de aspecto untuoso.

O aquífero livre granular é constituído majoritariamente por um arenito avermelhado (matriz areia média) com presença de seixos de quartzo rolado dispersos, e por sequências rítmicas alteatórias de argila-siltosa caulínica com níveis oxidados e camadas conglomeráticas. Nos taludes de corte existentes no setor sul da cava, onde está sendo lavrado o material estéril, foi aferida, na base do afloramento do arenito da Fm. Barreiras (aquífero livre granular), uma descarga hídrica com vazão inferida de 0,3m³/min ou 300l/min. A surgência de água é mais intensa (vazão mais concentrada) nos taludes de corte onde está exposta a camada de marga alterada que sela a base dos conglomerados.

Nas cotas inferiores, onde se encontram as bancadas de calcário calcítico laminado superior e inferior, verificou-se que estas rochas apresentam orientação preferencial de fraturamento (FR1: N35E/82NW e FR2: N60W/78NE) entretanto sem surgências relevantes de água. Em algumas fraturas subverticais observou-se a presença de surgências de água difusas, sobretudo nos taludes próximos das bermas superiores que se encontram saturadas

3. CONCLUSÃO

A partir do mapeamento e da análise dos dados à luz dos aspectos hidrogeológicos é possível concluir que o aquífero poroso granular situado nas cotas superiores (arenito da Fm. Barreiras) é permeável e eficiente. Este aquífero superior encontra-se selado por uma delgada camada impermeável (argilite esverdeado produto da alteração da Marga) que confina o aquífero fraturado pouco permeável e pouco eficiente situado nas camadas inferiores da cava (calcários da Fm. Gramame).

Com relação às informações geológicas que foram levantadas até o momento não é possível afirmar se há ou não nível d'água subterrâneo no calcário, principalmente nos níveis 4 e 5. A partir dos resultados do plano de investigação hidrogeológica proposto será possível validar o estudo conceitual do fluxo de água subterrâneo permitindo gerar um modelo hidrogeológico numérico e conseqüentemente projetar o avanço da lavra e rebaixamento da cava em mais duas bancadas, cerca de 10 metros cada.

O plano de investigação hidrogeológica proposto a seguir irá permitir o conhecimento das camadas de calcário do aquífero fraturado situadas nos níveis operacionais 4 e 5, se elas se apresentam saturadas com nível d'água subterrâneo ou não, além de elucidar sobre a freática a sudeste da cava existente, a fim de fomentar projetos futuros de expansão.

Estudos desta natureza são de grande relevância para as operações relacionadas principalmente ao extrativismo mineral, portanto são de cunho estratégico. Entendemos que a atividade mineral poderá influenciar de maneira sistêmica o comportamento do aquífero local, e portanto, conhecer de maneira prévia definirá a sequência, viabilidade e economicidade durante as fases de implantação de um empreendimento do gênero. No referido caso, identificamos de forma conceitual, não haver interação direta das operações de lavra com o comportamento do lençol, frente a interposição de uma camada selante entre os aquíferos identificados. Entretanto, tornou-se importante e relevante avanços nos estudos com requalificação do banco de dados a partir da aquisição de informações complementares.

O aprofundamento em pesquisas e a definição de critérios técnicos deve ser pauta para ampliar o conhecimento da hidrogeologia seja em caráter local, seja em caráter regional, ainda neste contexto, tal disciplina possui caráter dinâmico determinado principalmente pelas características mineralógicas dos materiais que compõem o arcabouço local, influenciado por processos geodinâmicos, como lixiviação, por exemplo.

3.1. Plano de Investigação Sugerido

A seguir apresenta-se o quantitativo dos estudos a serem realizados no programa de investigações hidrogeológico, que foi desenvolvido com o fomento técnico apresentado pelo Manual de Sondagens (ABGE, 1999) e o estudo de Métodos Geométricos em Hidrogeologia (BRAGA, 2016):

- 4 linhas de levantamento geofísico terrestre (eletrorresistividade, pelos métodos de caminhamento elétrico, potencial espontâneo e sondagens elétricas verticais) com dois pares de linhas perpendiculares entre si, dispostas na cor laranja na Figura 5., nos pontos mais baixos da cava – cenário de curto prazo;
- 09 linhas de levantamento geofísico terrestre equidistantes em 360 m, perpendiculares às direções das duas principais famílias de fraturas observadas, indo até os limites finais da cava - cenário de longo prazo, as quais não serão apresentadas nesse documento;
- 4 furos de sondagem rotativa (cor azul) totalizando 190 metros e 32 ensaios de perda d'água sob pressão realizados após o 2º metro abaixo da superfície, a fim de se aferir o coeficiente de permeabilidade das unidades presentes nos níveis mais profundos da cava (bottom pit).

As coordenadas de cada furo e caminhamento, profundidades de perfuração e os quantitativos de ensaios de perda d'água para cada sondagem não serão abordados nesse estudo. A Figura 3.1 apresenta a localização das investigações em planta.

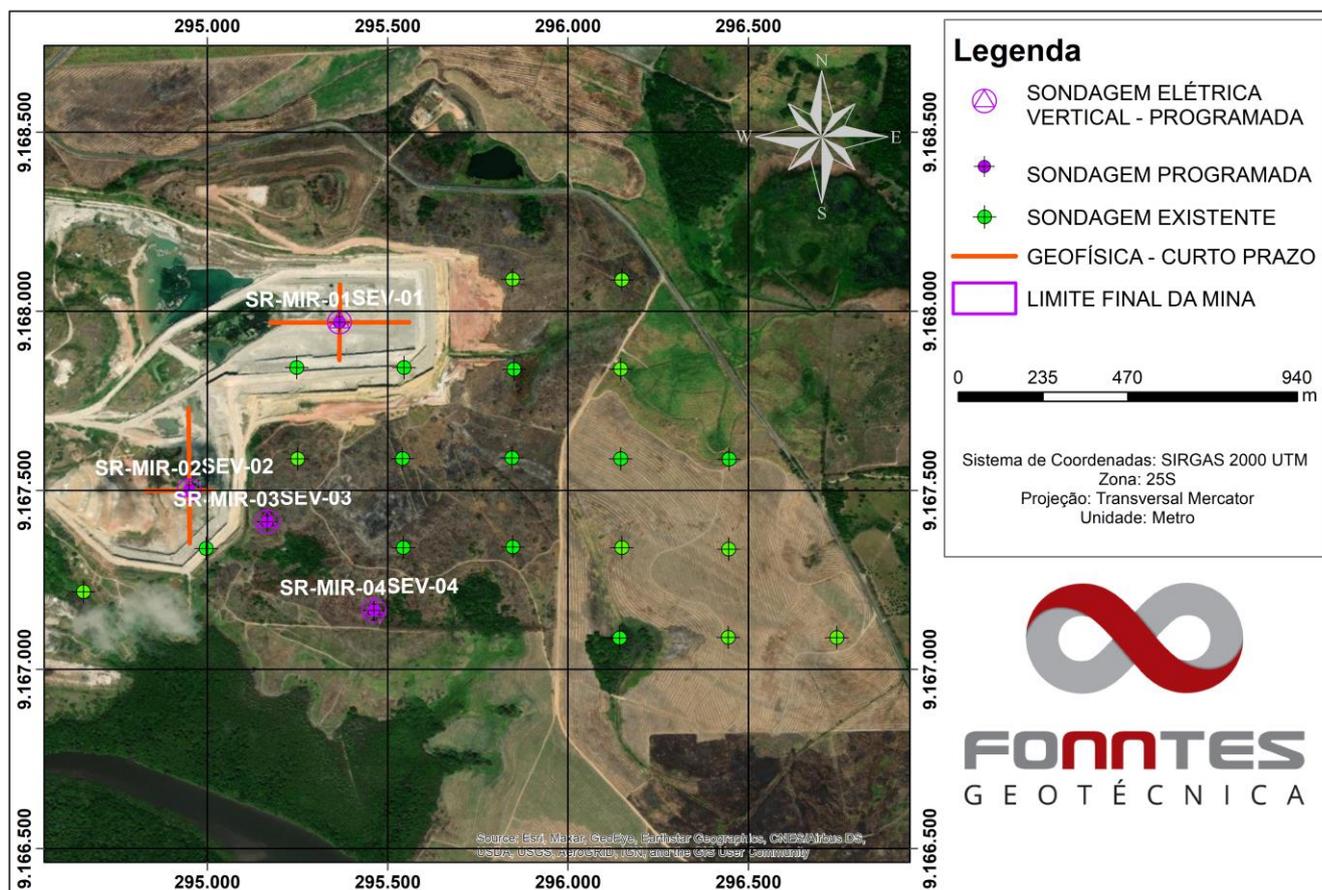


Figura 5. Planta de localização das investigações programadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FONNTES GEOTÉCNICA e à LAFARGE HOLCIM, em especial ao Fernando Leal, pelo suporte oferecido e pela liberação da publicação dos dados de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. Boletim nº 3 da ABGE – Manual de sondagens. São Paulo, 1999.

BRAGA, A. C. O. 2016. Geofísica Aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia. Ed. Oficina.

CPRM. Folha SH.22-X-B Criciúma (2000) *“Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil: Carta geológica - escala 1:250.000”*. Min. de Minas e Energias, Brasília.

SOUZA, E.M., 2006 - Estratigrafia da Seqüência Clástica Inferior (Andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior da Bacia da Paraíba e suas implicações paleogeográficas. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geociências, UFPE, 358p.

MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento geomorfológico do nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.