



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**

**HEITOR VILA BELA GANTOIS LAPORTE**

**O IMPACTO DA PERFURAÇÃO E DO DESMONTE DE ROCHA NA DRENAGEM  
DA MINA MIRAMAR**

**RECIFE  
2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**ENGENHARIA DE MINAS**

**HEITOR VILA BELA GANTOIS LAPORTE**

**O IMPACTO DA PERFURAÇÃO E DO DESMONTE DE ROCHA NA DRENAGEM  
DA MINA MIRAMAR**

TCC apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

**Orientador: Prof. Marcio Luiz de Siqueira  
Campos Barros**

**RECIFE**  
**2024**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através  
do programa de geração automática do SIB/UFPE

Laporte, Heitor Vila Bela Gantois.

O impacto da perfuração e do desmonte de rocha na drenagem da mina  
miramar / Heitor Vila Bela Gantois Laporte. - Recife, 2024.

41p : il., tab.

Orientador(a): Marcio Luiz de Siqueira Campos Barros

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Minas -  
Bacharelado, 2024.

1. Drenagem. 2. lavra. 3. geologia. 4. perfuração. 5. desmonte. I. Barros,  
Marcio Luiz de Siqueira Campos. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

HEITOR VILA BELA GANTOIS LAPORTE

**O IMPACTO DA PERFURAÇÃO E DO DESMONTE DE ROCHA NA DRENAGEM  
DA MINA MIRAMAR**

TCC apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovado em: 27/03/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marcio Luiz de Siqueira Campos Barros (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Me. Marinesio Pinheiro de Lima  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Me. Carlos Eduardo da Silva Araujo  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais e amigos que sempre me incentivaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer primeiramente a meus pais André Luis Gantois Laporte e Mônica Vila Bela Laporte por sempre ter me dado apoio para ser quem eu sou hoje, desde o início da minha vida, sempre acreditando nos meus sonhos. Agradecer a minha irmã Beatriz Vila Bela Gantois Laporte por estar também presente nessa trajetória. Aos meus colegas e professores do Departamento de Engenharia de Minas do CTG dos quais me ajudaram a construir todo o conhecimento necessário para me tornar um profissional competente e íntegro. A minha esposa Natália que apesar das dificuldades esteve sempre ao meu lado me apoiando. E principalmente a equipe de mineração da CSN Caaporã-PB da Mina Miramar que me acolheram e me ensinaram grande parte da prática da mineração, em especial a Jocelio Ribeiro da Silva líder de mineração e a Fernando Marques Pereira de Menezes Leal coordenador de mineração por ter me dado a oportunidade de agregar e aprender cada vez mais com eles.

"Aquilo que se faz por amor está sempre além do bem e do mal." (Friedrich Nietzsche)

## RESUMO

Este trabalho aborda um problema de drenagem encontrado em períodos chuvosos na Mina Miramar, Caaporã-PB. Durante o período investigativo foi visto que o processo de lavra, ou seja, marcação de malha de perfuração, perfuração e desmonte de rocha foram os fatores responsáveis para o acúmulo de água na mina. Devido a localização da mina ser próxima ao mar, existir aquíferos próximos e algumas bancadas estarem abaixo do nível do mar, o acúmulo de água na mina é inevitável. Porém através da análise da geologia local, do processo de lavra e a forma que a mina vem avançando em direção ao mar, aumentando a profundidade das cotas inferiores, resultando em desníveis e afundamento da mina em direção ao mar, fazendo com que gere acúmulo de água nas cotas inferiores. Logo com a reformulação do avanço da mina, corrigindo a operação da perfuratriz, a operação de desmonte, o consumo do material desmontado pelas escavadeiras e a implementação de bombas de sucção específicas para pequenas lâminas de água e apropriadas para a presença de detritos, por exemplo, calcário fragmentado e pó de calcário foi visto que o acúmulo de água já diminuiu consideravelmente e mostra que a previsão conforme a altura das bancadas passarem a ser normalizadas com o avanço da mina é de que não exista mais esse problema de drenagem pois a água será direcionada para o sump (bacia escavada no solo com a função de conter água provenientes de chuvas e contribuições do lençol freático) principal da mina, evitando assim a limitação da lavra em períodos chuvosos.

**Palavras-chave:** Drenagem; lavra; geologia; perfuração; desmonte.

## ABSTRACT

This work addresses a drainage problem found in rainy periods at Mina Miramar, Caaporã-PB. During the investigative period it was seen that the mining process, that is, drilling mesh marking, drilling and rock dismantling were the factors responsible for the accumulation of water in the mine. Due to the location of the mine being close to the sea, there are aquifers nearby and some benches are below sea level, the accumulation of water in the mine is inevitable. However, through the analysis of local geology, the mining process and the way in which the mine has been advancing towards the sea, increasing the depth of the lower levels, resulting in unevenness and sinking of the mine towards the sea, causing it to generate an accumulation of water in the lower levels. Following the reformulation of the mine's progress, correcting the operation of the drill, the dismantling operation, the consumption of dismantled material by excavators and the implementation of specific suction pumps for small water depths and appropriate for the presence of debris, for example , fragmented limestone and limestone dust, it was seen that the accumulation of water has already reduced considerably and shows that the prediction as the height of the benches starts to be normalized with the progress of the mine is that this drainage problem will no longer exist as the water will be directed to the mine's main sump (basin excavated in the ground with the function of containing water from rain and contributions from the water table), thus avoiding the limitation of mining in rainy periods.

**Keywords:** Drainage; mining; geology; drilling; dismantling.

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
2.	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1.	Lavra por bancadas .....	13
3	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA</b> .....	16
3.1.	Hydrografia .....	16
3.2.	Geomorfologia .....	19
3.3.	Clima e vegetação .....	20
4	<b>GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	21
5	<b>BALANÇO HÍDRICO</b> .....	25
5.1.	Evaporação e evapotranspiração .....	25
5.2.	Escoamento superficial .....	26
5.3.	Resultados do balanço hídrico .....	27
6	<b>GEOLOGIA LOCAL</b> .....	29
7	<b>HIDROGEOLOGIA LOCAL</b> .....	32
8	<b>DRENAGEM DA MINA</b> .....	32
9	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

Ao tratar de mineração, o planejamento operacional de uma mina precede a operação de lavra e isso dá a garantia de um cenário propício para extração de minério. Nesta etapa está o conhecimento geológico e hidrogeológico regional e local, pois cada detalhe dessas formações pode direcionar o planejamento para diferentes caminhos e viabilidades.

Na mineração de calcário da Mina Miramar, objeto deste trabalho, apresenta-se um problema que é tratado antes, durante e após a abertura da cava da mina, a drenagem. Ela que por sua vez pode ser aliada ou inimiga do processo de lavra, ajudando a armazenar água em períodos de escassez ou obstruindo acessos de vias e frentes de lavra. No caso abordado neste trabalho, vemos que a drenagem inviabilizou a operação, causando problemas para a retirada do calcário fragmentado proveniente do desmonte de rocha.

O propósito é mostrar a metodologia utilizada para resolver este problema, com investigações em campo mostrando que no processo de lavra, o planejamento, a furação, desmonte e retirada do material têm papel significativo. Logo é evidenciado no caso abordado a importância da rápida tomada de decisões almejando evitar problemas a curto, médio e longo prazo, as quais norteiam o conteúdo deste trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. LAVRA POR BANCADAS

Na lavra por bancadas, o capeamento estéril é removido e transportado até um depósito nas imediações da abertura para expor o minério, possibilitando, assim, o acesso a ele. Esse processo é denominado decapeamento. Tanto o decapeamento quanto a lavra propriamente dita são desenvolvidos em uma ou mais bancadas em sequência.

Se o depósito mineral e o capeamento são relativamente pouco espessos, como é típico em algumas minas de carvão e algumas minas de minerais não metálicos, apenas uma bancada pode ser suficiente. Entretanto, à medida que aumenta a espessura e a profundidade do depósito mineral, será necessário desenvolver um número proporcionalmente maior de bancadas. Assim, nesse método de lavra, o desenvolvimento é sempre feito de forma descendente, por meio de uma série de bancadas consecutivas. Inicia-se o desenvolvimento pela preparação da bancada situada na cota mais elevada, após o trabalho de preparação inicial do terreno. Essa preparação inicial é constituída, geralmente, por desmatamento, construção das estradas iniciais de acesso ao local e remoção e estocagem do solo para futura utilização.

Desenvolvida adequadamente a primeira bancada, passa-se sucessivamente à segunda, terceira, quarta e assim por diante, até atingir-se a última. Para manter a estabilidade dos taludes na lavra, cada bancada consecutiva deve ser desenvolvida com uma abertura ou raio menor que aquela situada imediatamente acima. Como consequência, obtém-se uma cava como mostrada na figura abaixo.

Figura 1 — Foto aérea mostrando a cava da Mina Miramar, Caaporã-PB



Fonte: O autor através de drone (2024).

Com o desenvolvimento da mina e a evolução das operações de decapeamento, o minério vai gradativamente sendo exposto. A partir da exposição do minério, as operações unitárias de lavra podem, então, ser coordenadas para que a receita obtida com a venda do minério seja, no mínimo, suficiente para contrabalançar os custos de remoção do estéril e, ao mesmo tempo, os objetivos de longo prazo do projeto, considerando a cava final, sejam gradativamente atingidos.

Além disso, o desenvolvimento da lavra por bancos múltiplos também leva a uma maior extensão de face livre mineralizada exposta, o que favorece a mistura de minérios distintos, tornando a produção mais previsível, homogênea e sem interrupções. As dimensões dos bancos individuais projetados devem, então, ser ajustadas de acordo com as características dos equipamentos selecionados.

A altura dos bancos é limitada pelo alcance máximo dos equipamentos de escavação. Uma escavadeira elétrica tipo shovel, por exemplo, pode trabalhar em bancos mais altos do que uma carregadeira frontal ou uma escavadeira hidráulica de portes equivalentes. A largura dos bancos deve ser suficiente para reter a rocha liberada pelo desmonte e, simultaneamente, prover espaço suficiente para as operações e manobras dos equipamentos gerais de carregamento e transporte. Segundo Matheus Fontes (2022) para reduzir a relação estéril/minério, o ângulo de talude deve ser o mais íngreme possível, sendo atendidos os critérios de segurança estabelecidos pelos estudos geotécnicos. Algumas das dimensões usuais dos bancos em minas a céu aberto para maciços rochosos bem consolidados, de acordo com os tipos de minério, são mostradas na tabela abaixo.

Tabela 1 — Dimensões usuais dos bancos em lavras a céu aberto de acordo com os tipos de minério

<b>Minério</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Ângulo da face do talude (°)</b>
<b>Cobre</b>	12-18	24-38	50-60
<b>Ferro</b>	9-14	18-30	60-70
<b>Não metálicos</b>	12-30	18-45	50-60
<b>Carvão</b>	15-23	15-30	60-70

Fonte: Hartman e Mutmansky (2002).

Com isso podemos afirmar que.

[..] a lavra por bancos constitui um método de produção de grande escala, proporciona altas taxas de produção e é responsável por mais de 60% de toda a produção a céu aberto. Esse método se adequa à utilização de equipamentos de grande porte, de produção em massa (método altamente mecanizado), mas, por outro lado, requer altos investimentos iniciais e elevados custos para a manutenção satisfatória das operações (Fontes, 2022).

### **3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA**

#### **3.1. HIDROGRAFIA**

A área encontra-se inserida nos domínios da bacia hidrográfica do rio Abiaí, com os principais cursos d'água apresentando regime de escoamento perene e padrão de drenagem dendrítico (Fontes, 2022). A área da bacia do rio Abiaí abrange a microrregião do litoral sul da Paraíba, formada pelos municípios de Alhandra, Caaporã, Pedras de Fogo e Pitimbu, conforme apresentado na figura 2.

Segundo Fontes (2022) o rio Abiaí, com extensão de 28,2km, apresenta sua nascente na Fazenda Caboclo localizada no município de Alhandra, a uma altitude de 60,0 m e seu principal afluente, o qual ocorre pela margem direita, é rio Pipocas. O mesmo apresenta sua nascente no município de Pedras de Fogo, a uma altitude de 80,0 m. Este, por sua vez, recebe contribuições na sua margem esquerda do rio Taperubus e na sua margem direita do rio Cupissura.

Figura 2 — Localização da Mina Miramar nas bacias hidrográficas do litoral sul da Paraíba



Fonte: AESA-PB - Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (2024).

Segundo Fontes (2022) a bacia do rio Abiaí é considerada de grande importância geográfica, haja vista a existência de mananciais que atendem, em curto prazo, a ampliação do abastecimento da região metropolitana de João Pessoa, capital do estado da Paraíba.

### 3.2. GEOMORFOLOGIA

Assim como mencionado por Fontes (2022), toda região costeira da Paraíba é constituída por três compartimentos geomorfológicos, dois desses compartimentos são bem definidos em relação à topografia e constituição litológica. São eles: as Planícies (fluvial, fluviomarinha e costeira) e os baixos planaltos costeiros ou, segundo a toponímia regional, os Tabuleiros.

A região da Mina Miramar insere-se na chamada unidade Geoambiental dos Tabuleiros Costeiros, que acompanha o litoral de todo o nordeste brasileiro, apresentando altitudes médias de 50 a 100 metros. Compreende platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas. De modo geral os solos existentes sobre o tabuleiro pertencem a área, por ter se desenvolvido a partir do intemperismo e pedogênese dos sedimentos arenosos da Formação Barreiras, e pelo fato da topografia local ser plana, a infiltração supera o escoamento superficial (Fontes, 2022). Essa tendência, na dinâmica das águas pluviais sobre os tabuleiros, além da formação dos níveis arenosos em superfície, provoca a formação de níveis endurecidos e impermeáveis em subsuperfície através da concentração dos coloides e soluções no horizonte iluvial.

### 3.3. CLIMA E VEGETAÇÃO

Em relação ao clima, vigora o úmido. As temperaturas mantêm-se elevadas durante o ano todo, com média das máximas de 30 °C, pequena queda nos meses de inverno, com médias das mínimas atingindo 18 °C.

Conforme mencionado por Fontes (2022), o clima local da Mina Miramar é do tipo tropical chuvoso com verão seco e precipitação média anual de 1.938,7 mm, sobre a bacia com período chuvoso de abril a julho, o gradiente longitudinal de precipitações é elevado, variando de forma decrescente do litoral para o interior. A umidade relativa do ar medida na bacia da região do empreendimento varia de 68% a 85%, onde as máximas ocorrem entre os meses de julho e agosto e os mínimos entre os meses de novembro e janeiro, sendo a média anual aproximada igual a 80%.

A vegetação é predominantemente de formação densa, alta rica em espécies vegetais, com partes de cerrado, abrigando manguezais, campos de várzea e formações mistas com restingas. No entanto, no processo de ocupação das terras quase toda a vegetação natural foi retirada e substituída pelas culturas de cana-de-açúcar, abacaxi, mandioca, etc. Atualmente restam apenas alguns trechos de mata atlântica.

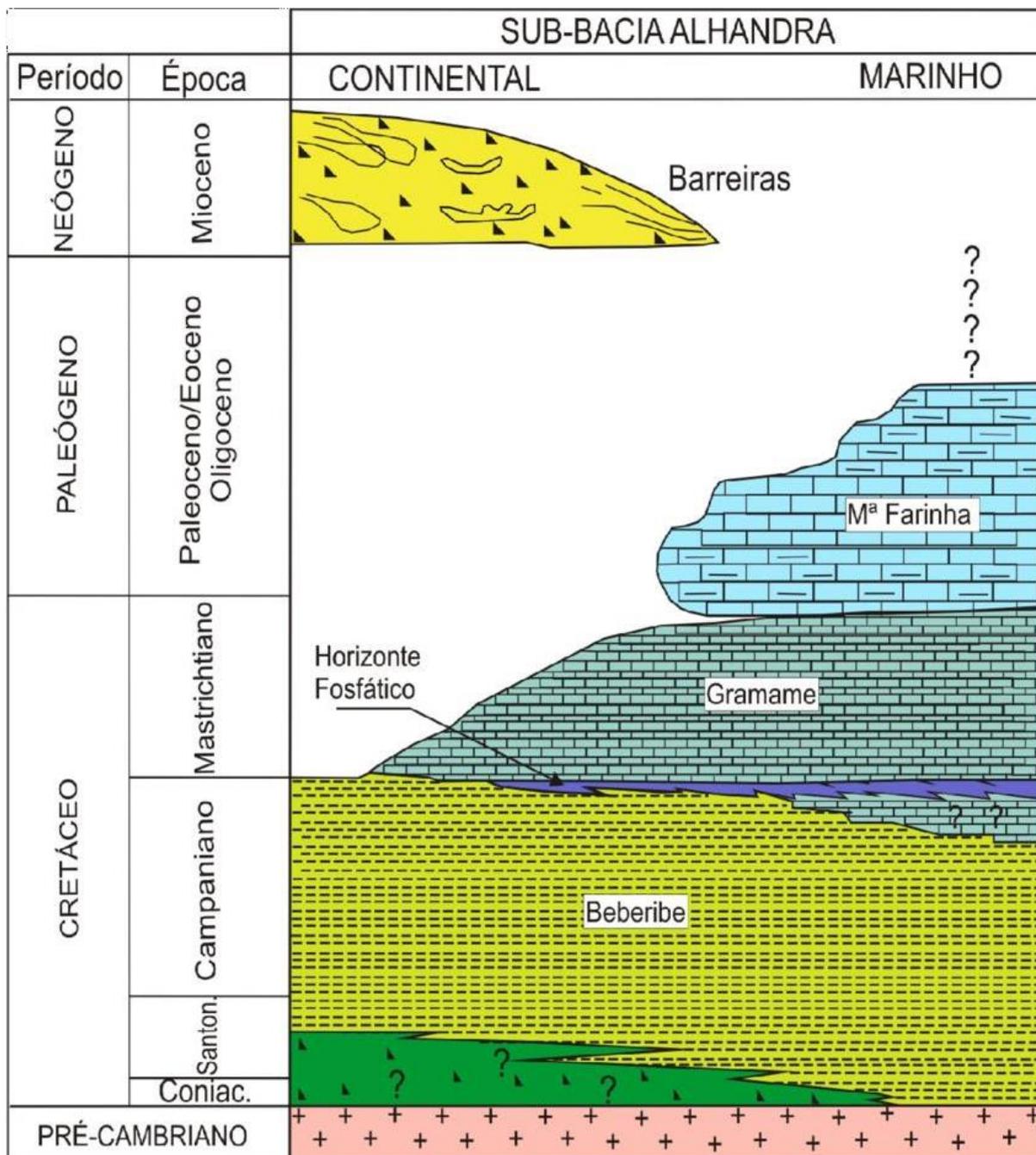
#### 4 GEOLOGIA REGIONAL

O empreendimento encontra-se no domínio geológico da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba. Essa bacia compreende uma estreita faixa de costa nordeste do Brasil delimitada desde o litoral norte do estado de Pernambuco até o litoral sul do estado da Paraíba.

De acordo com Barbosa (2007), a Bacia Pernambuco-Paraíba pode ser subdividida em 3 (três) sub-bacias distintas: Olinda, Miriri e Alhandra, sendo o embasamento desta bacia formado por unidades estratigráficas de idade pré-cambriana pertencentes à Província Borborema.

Conforme Fontes (2022) a área de estudos insere-se integralmente no contexto de rochas pertencentes à sub-bacia Alhandra que, conforme Souza (2006), possui embasamento constituído por ortognaisses e migmatitos de alto grau intrudidos por corpos gabróicos ou gabroanortosíticos. A sub-bacia Alhandra, conforme pode-se observar na carta estratigráfica apresentada na figura 3, é formada, na base, por um pacote sedimentar com caráter continental/marinho regime transgressivo/regressivo denominado por Grupo Paraíba. Este, por sua vez, é composto por 3 formações, a saber: Beberibe, Gramame e Marinha Farinha. No topo da coluna estratigráfica desta sub-bacia são descritos os sedimentos pertencentes ao Grupo Barreiras.

Figura 3 — Coluna estratigráfica da sub-bacia Alhandra, uma das sub-bacias que compõem a Bacia Pernambuco-Paraíba



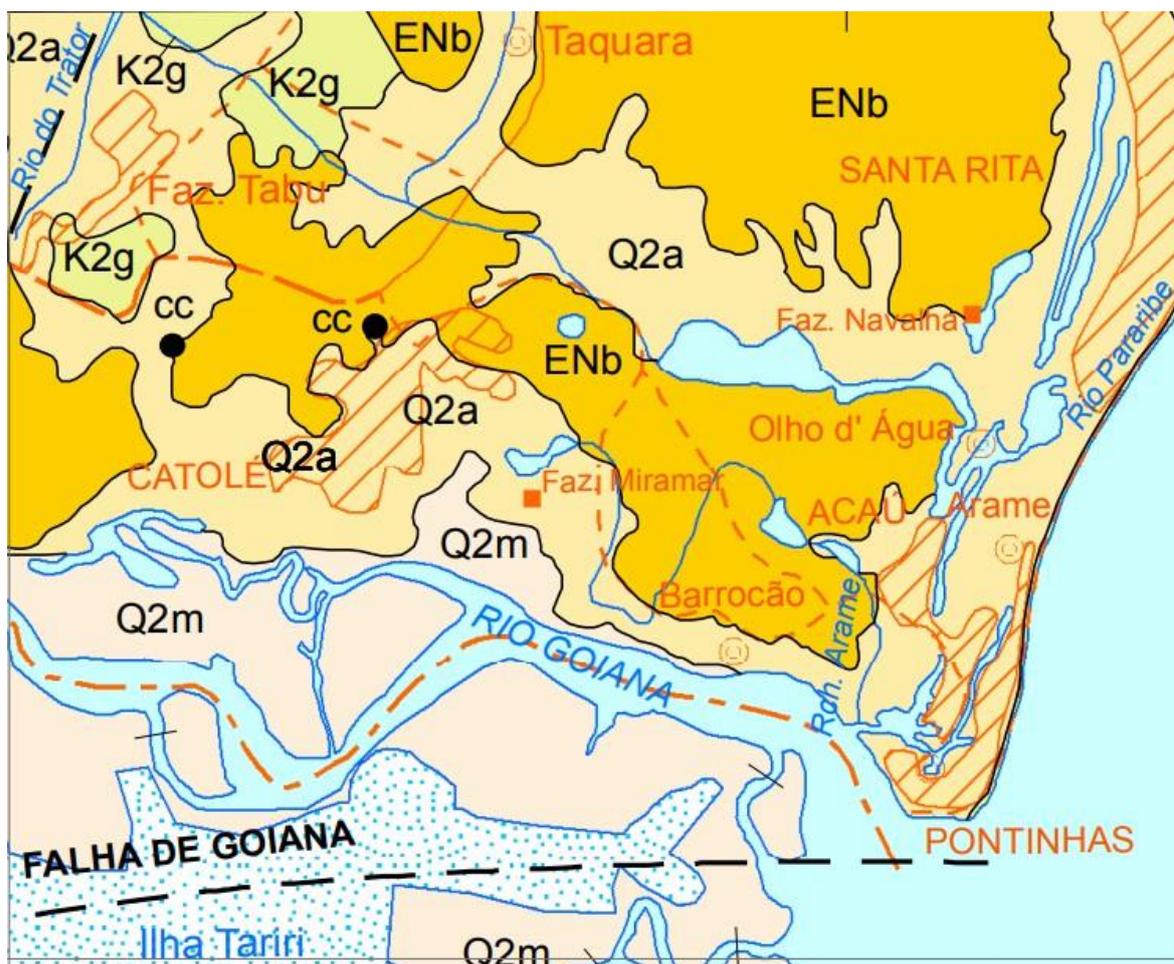
Fonte: Barbosa et al. (2004).

Segundo Fontes (2022) a formação Beberibe constitui a base do Grupo Paraíba e corresponde a uma camada predominantemente constituída por arenitos, de granulação média a grossa, podendo, por vezes, ser conglomerática. Segundo Barbosa (2007), na porção superior desse estrato ocorrem arenitos calcíferos e calcários siliciclastos (sedimentos siliciclásticos formam-se a partir de fragmentos de rochas parentais resultantes do intemperismo físico e químico e são transportados até bacias sedimentares por água, vento ou gelo).

Sobre a geologia regional podemos acrescentar que,

[...] está sobreposta de forma gradual à Formação Beberibe, ocorre a Formação Gramame, na qual encontra-se o calcário lavrado na Mina Miramar. É essencialmente constituída por calcários, calcários margosos e margas (calcário com cerca de 35% a 60% de argila na sua composição), 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 Beberibe, é possível elucidar uma tendência regressiva do nível do mar, e conseqüentemente a redução da fauna. 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. A Formação Maria Farinha ocorre restrita ao litoral sul do estado da Paraíba e trata-se da continuação deposicional da Formação Gramame, onde apresenta maior concentração de magnésio no calcário, sendo assim chamado de dolomítico (Fontes, 2022).

Figura 4 — Mapa geológico regional da Mina Miramar, Caaporã-PB.



Legenda:

<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q2m</span>	Depósitos de mangue: sedimentos arenosos, silty e argilosos
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q2a</span>	Depósitos aluvionares: sedimentos areno-argilosos
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q2p</span>	Depósitos litorâneos de praias: areias médias a grossas quartzosas
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q2tm</span>	Terraços marinhos holocênicos: areias médias quartzosas com fragmentos de conchas
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q1tm</span>	Terraços marinhos pleistocênicos: areias médias a grossas quartzosas
NEÓGENO-QUATERNÁRIO (Q)	
GRUPO BARREIRAS	
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ENb</span>	Arenitos grossos a conglomeráticos, intercalados por níveis conglomeráticos e camadas silty-argilosas.
PALEÓGENO (P)	
FORMAÇÃO MARIA FARINHA	
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E1mf</span>	Calcários margosos e margas, fossilíferos
MESOZOICO	
CRETÁCEO (K)	
FORMAÇÃO GRAMAME	
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">K2g</span>	Calcários, calcários margosos e margas, fossilíferos.

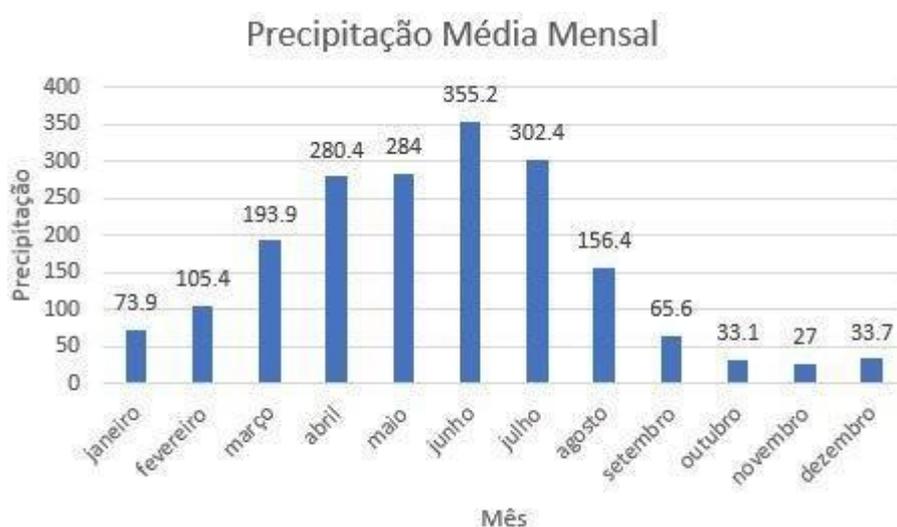
Fonte: Folha Itamaracá SB.25-Y-C-VI (CPRM, 2014).

## 5 BALANÇO HÍDRICO

### 5.1. EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Em 2022 a unidade realizou um relatório de balanço hídrico para saber as precipitações de chuva e reserva de água no local da mina. Através da verificação da precipitação média mensal fornecida pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) percebeu-se que o período com maiores chuvas vai de abril até julho conforme evidenciado no gráfico 1.

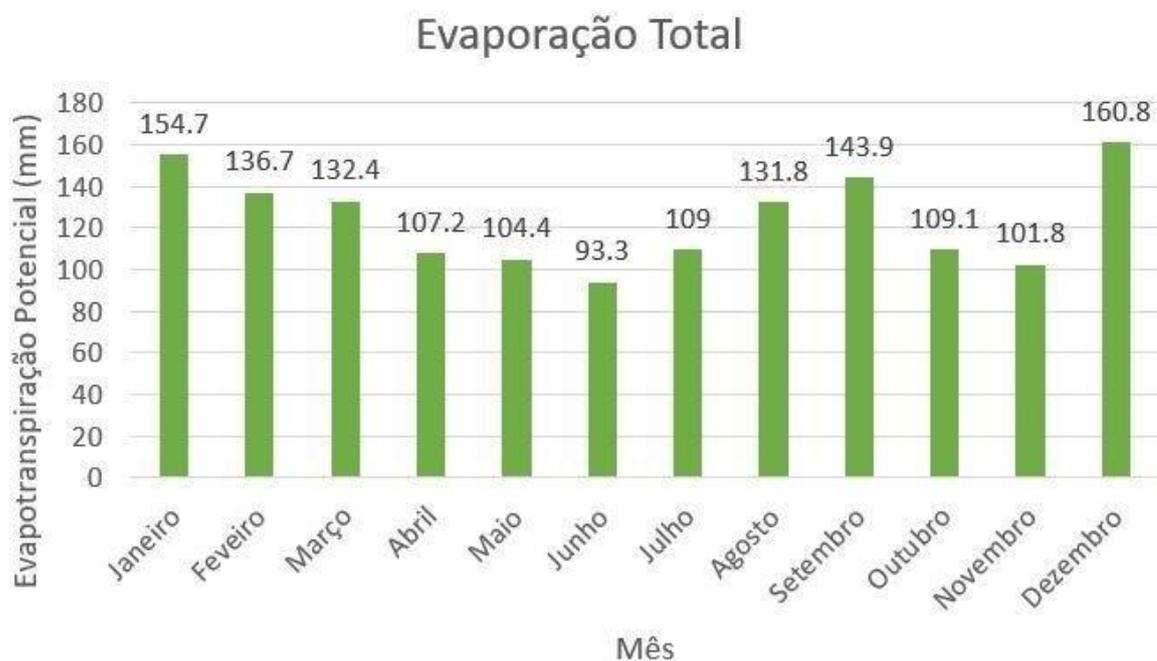
Gráfico 1 — Precipitação média mensal de 2022 (mm)



Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2024).

Em virtude da ausência de dados locais para os estudos de evaporação e evapotranspiração, que consistem respectivamente em a água acumulada transformar em vapor e ir para a superfície e a vegetação junto com o solo adquirir ou evaporar essa água, optou-se por utilizar os dados do INMET para provar a baixa eficiência nesse quesito no período chuvoso, conforme mostra o gráfico 2.

Gráfico 2 — Evaporação e evapotranspiração real mensal de 2022 (mm)



Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2024).

## 5.2. ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial é definido por Chow (1959) como o escoamento decorrente da precipitação que não é retida na superfície do solo, nem infiltrado pelo solo. A simulação do escoamento superficial vem da identificação da precipitação efetiva ocorrente na bacia hidrográfica e pode ser definida utilizando-se tanto dados de monitoramento fluviométrico, quanto relações empíricas.

Em função da deficiência de monitoramento fluviométrico na região, obteve-se a estimativa do escoamento superficial a partir do coeficiente de escoamento superficial  $C$ , que é o volume total escoado dividido pelo volume total precipitado. Para sua estimativa, utilizou-se os valores médios recomendados por Pinheiro (2011) na aplicação do método racional para obras hidráulicas em áreas minerárias, conforme demonstra a tabela 2.

Tabela 2 — Valores de coeficiente de escoamento superficial

TIPOLOGIA	Mínimo	Máximo	Adotado
Campo natural (vegetação baixa)	0,30	0,50	0,40
Floresta e matas densas	0,05	0,20	0,13
Mineração	0,60	0,70	0,65

Fonte: Pinheiro (2011).

A tabela 3 retrata o coeficiente de escoamento superficial calculado para a área de interesse, utilizado para a quantificação do escoamento superficial no cenário do balanço hídrico.

Tabela 3 — Cálculo do coeficiente de escoamento superficial considerado para o estudo de balanço hídrico

TIPOLOGIA	Coef. Adotado	Área (KM²)	Coef. Ponderado
Campo natural (vegetação baixa)	0,40	6,867	0,228
Floresta e matas densas	0,13	3,651	0,039
Mineração	0,65	1,544	0,083
<b>Coeficiente de escoamento superficial</b>			<b>0,350</b>

Fonte: Estudo Hidrogeológico Conceitual da Mina Miramar LafargeHolcim (2022).

### 5.3. RESULTADOS DO BALANÇO HÍDRICO

Para obtenção do resultado foi utilizada a referida equação abaixo:

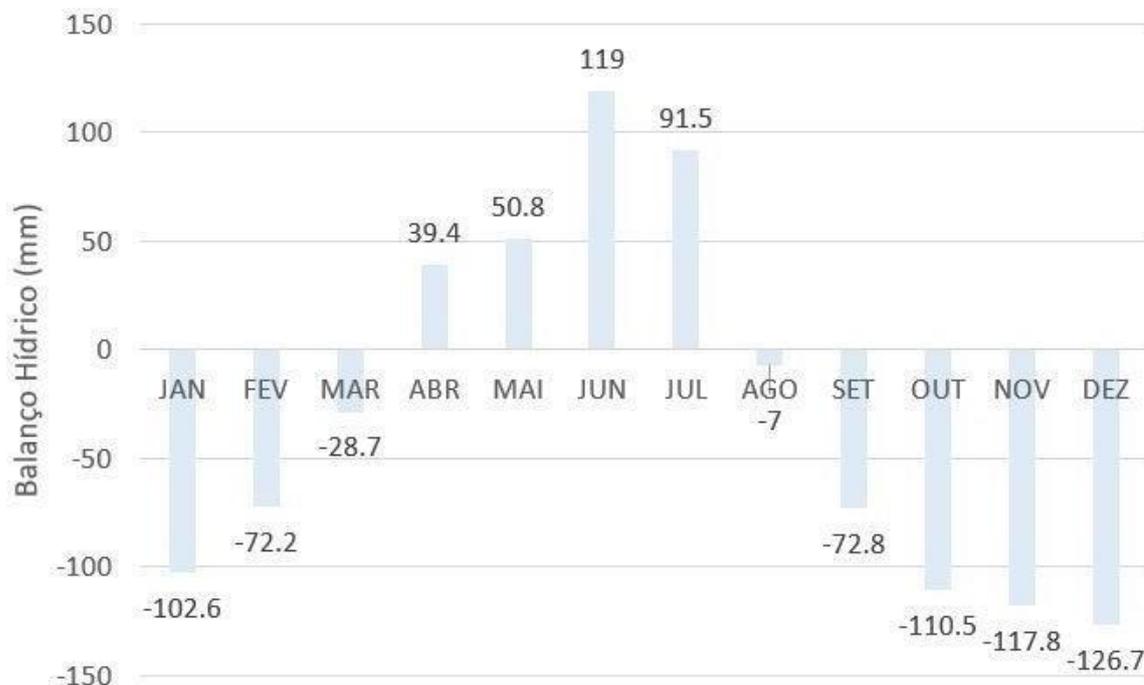
$$R = P - ES - ETR \quad (1)$$

Na qual:

- R denota a recarga mensal da região, em mm;
- P denota a altura de chuva média mensal, em mm;
- ES denota o escoamento superficial médio mensal, em mm;
- ETR denota a evapotranspiração média mensal, em mm;

Considerando todos os parâmetros utilizados na análise e aplicando a equação (1), obtemos os volumes mensais de recargas hídricas da área da mina.

Gráfico 3 — Alturas Mensais de entrada e saída do balanço hídrico



Fonte: Estudo Hidrogeológico Conceitual da Mina Miramar LafargeHolcim (2022).

Conforme observado no gráfico 3, a recarga hídrica ocorre principalmente no período chuvoso, o qual corresponde aos meses entre abril e julho. Já no período seco, meses entre setembro e março, a recarga é demasiadamente reduzida, em virtude do resultado negativo do balanço hídrico nestes meses. O balanço hídrico realizado indica a máxima recarga mensal de 119,0 mm em junho. A partir de julho, a diminuição dos índices pluviométricos, associada aos elevados índices de evapotranspiração, indicam um déficit hídrico máximo de 123,7 mm em dezembro.

## 6 GEOLOGIA LOCAL

Como evidenciado na figura 5 é possível ver a presença de água nas regiões mais inferiores da mina, locais esses que servem como armazenamento de água para abastecimento dos caminhões pipas para as mais diversas atividades, desde umectação das vias até abastecimento da fábrica. As pilhas de estéril são compostas por materiais terrosos de granulometria arenosa, siltosa e argilosa com pequenos blocos e pedregulhos. As camadas de vegetação que cobrem as camadas de calcário possuem solo residual arenoso e siltoso com presença de seixos de quartzo dispersos e coloração marrom a bege amarelado.

Figura 5 — Imagem aérea da Mina Miramar



Fonte: O autor (2024).

Legenda:

- 1) Bombas de abastecimento da mina;
- 2) Pilha de estéril norte;
- 3) Pilha de estéril intermediária;
- 4) Pilha de estéril Sul;
- 5) Decapamento Leste;
- 6) Decapamento Sul;

- 7) Área de reflorestamento;
- 8) Pátio de estoque de calcário;
- 9) Britador de calcário;
- 10) Britador de argila;

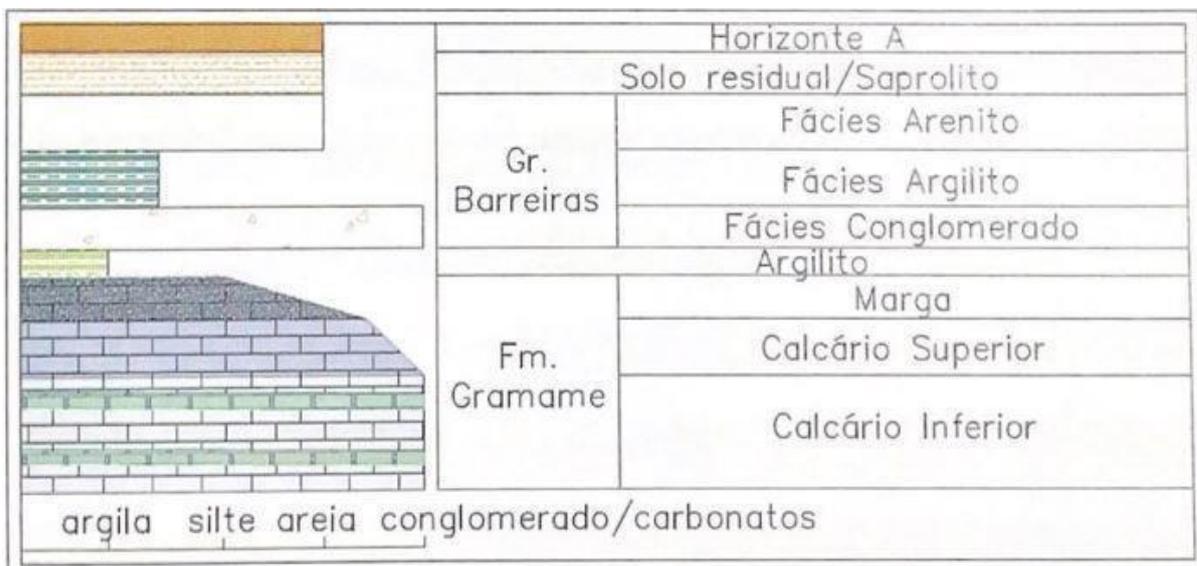
Figura 6 — Imagem aérea da junção sul com leste do avanço da cava da Mina Miramar



Fonte: O autor (2024).

Na figura 6 conseguimos ver uma margem amarela na cota 15 Sul, que está 15 metros acima do nível do mar, essa margem possui formação de rocha de calcário de granulometria arenosa e siltosa que varia de 2 m a 4 m de altura dependendo do local na bancada. O calcário que se dispõe logo em seguida da margem possui uma coloração cinza claro com uma rocha carbonática de granulometria arenosa (areia fina a média) com estruturas planares. Já a porção mais inferior do calcário possui uma coloração cinza escuro e rocha mais consolidada e bem formada.

Figura 7 — Coluna estratigráfica da geologia local



Fonte: Estudo Hidrogeológico Conceitual da Mina Miramar LafargeHolcim (2022).

A marga superior representa o topo da Formação Gramame, onde possui nível contínuo, sendo observado na cota 15 da mina, o contato entre a marga e o calcário superior se deu de forma gradacional com é possível ver na figura 6.

Fontes (2022) acrescenta a isso que,

[...] o calcário superior é caracterizado pelo acamamento de planos que constitui a parte de maior teor da mina. Ele apresenta em sua matriz calcitas e sulfetos de ferro. Esta bancada possui diversas discontinuidades geológicas, onde é perceptível a surgência de um aquífero fissural. Já o calcário inferior ele ocorre a partir da cota inferior a 15, sendo a cota 0, onde é possível identificar um calcário com propriedades físicas distintas, onde possui família de fraturas de menor persistência. Há também a grande presença de pirita, calcopirita e pirrotita. O sistema de intercalações entre o calcário superior e inferior indica um sistema deposicional referente a uma transgressão marinha, onde os sedimentos até então formados em ambiente raso, foram afogados. Já no quesito estruturas é perceptível a presença dos planos de acamamento com mergulho para o leste com famílias de fraturas verticalizadas, onde o calcário superior é mais fraturado.

## 7 HIDROGEOLOGIA LOCAL

Conforme evidenciado por Fontes (2022), a área da mina possui dois tipos de aquíferos distintos: um do tipo granular, com relevante volume d'água, o qual é registrado pela descarga nos taludes de corte nas rochas da Formação Barreiras; e outro do tipo fraturado, situado abaixo de uma delgada camada de argila. O aquífero seco fraturado é representado pelas rochas calcárias calcíticas laminadas da Formação Gramame e a camada selante é composta por uma extensa camada centimétrica de argila.

Fontes (2022) diz que o aquífero livre granular é constituído por um arenito avermelhado com presença de seixos de quartzo dispersos, e por sequências aleatórias de argila-siltosa. Nos taludes de corte existentes no setor sul da cava, onde é retirado o material estéril (figura 6), há a uma descarga hídrica com vazão de  $0,3\text{m}^3/\text{min}$  ou  $300\text{l}/\text{min}$ . A surgência de água é mais intensa nos taludes de corte onde está exposta a camada de marga.

## 8. DRENAGEM DA MINA

Um ponto crítico para a mineração é a drenagem, e na Mina Miramar não é diferente, o período de chuva na planta é intensificada entre os meses do final do mês de abril até julho. As bancadas são constituídas por passagens de drenagem de água provenientes da chuva ou mesmo do aquífero de baixo da área de decapeamento, do qual a água escorre por todo o pé das bancadas formadas por leiras de contenção com o material da mina, seja calcário ou a própria argila, essas passagens são denominadas *rock trap*, onde a tradução literal seria armadilha para rocha, que funcionam na operação de lavra como um meio de segurança para evitar que rochas desprendidas da bancada venham a cair e sair rolando causando acidentes, porém nesse caso servem como guia para direcionar a água escoada, evitando assim pontos de alagamento na mina. A cota 15 da mina, a qual é o primeiro contato com o calcário após a retirada de material estéril, possui seus rocktraps direcionados para um dreno central que desemboca em um córrego na região leste, como mostrado na figura 8.

Figura 8 — Vista aérea da mina pós período de chuva



Fonte: O autor (2024).

Devido a família de fraturas presentes nas cotas superiores, é comum o acúmulo de água nos *rock traps* em período chuvoso fazendo com que em alguns pontos a água transborde ou infiltre e acumule nas vias de acesso das cotas superiores e tenha que ser direcionada para dentro da mina como mostram as figuras 9 e 10.

Figura 9 — Água acumulada na cota 15 em período de chuva



Fonte: O autor (2024).

Figura 10 — Água sendo direcionada da cota 15 para a mina



Fonte: O autor (2024).

Mesmo que não existisse o direcionamento da água das cotas superiores para a mina, a drenagem ainda seria um problema por conta da intensidade das chuvas. Após a água atingir as cotas inferiores, sua drenagem é realizada para o sump de reservatórios da mina por gravidade, porém como mostrado na figura 8, é perceptível o acúmulo de água na cota mais inferior, -20 Leste. Durante a chuva o sump da mina fica tão cheio que é necessário fechar seu acesso e realizar a transferência de água através de um motorbomba, com uma vazão nominal de  $330\text{m}^3/\text{s}$ , porém com uma vazão real de  $220\text{m}^3/\text{s}$  para esse cenário com a finalidade de evitar a sucção de pedregulhos e obstrução do mangote de sucção, essa vazão é considerada baixa por conta da intensidade das chuvas gerando acúmulo excessivo de água impossibilitando a lavra no avanço leste como mostra a figura 11. A frota de caminhões basculantes é do tipo rodoviário e o sistema de ABS deles acusam falha e bloqueiam o câmbio do caminhão como medida de segurança quando o nível de água está na altura referente a metade do pneu, inviabilizando assim a operação de lavra nessa área. É comum o nível de água estar entre 1 m e 1,5 m.

Figura 11 — Água acumulada na cota -20 leste sendo transferida para o sump da mina



Fonte: O autor (2024).

Com o intuito de solucionar o problema de drenagem, abriu-se uma investigação para encontrar o motivo do qual estava existindo acúmulo de água na cota -20 leste, e com base na geologia local o calcário avança no sentido sudeste com um pequeno mergulho. As bancadas seguem o mesmo avanço e mesma altura de furação, porém como o corpo mineral vai perdendo altura, a padronização dessa altura de furação tenderia que a mina fosse afundando após cada desmonte na região leste. Evidenciado essa possível alteração por conta do mergulho pelo operador de perfuratriz, foi montado um plano em que parte do material desmontado seria deixado na mina pelas escavadeiras para manter o nível do piso durante avanço para escoamento da água, porém devido a demanda de produção, os operadores não deixavam essa lâmina de calcário desmontado resultando no afundamento da mina após cada avanço. Com isso foi iniciado um trabalho para garantir o controle da furação diminuindo a altura dos furos, e garantindo um carregamento para desmonte apenas do material esperado fazendo com que a mina inicie um processo de nivelamento do piso, melhoria que já começou a ser observada após dois desmontes evitando o acúmulo de água mostrado na figura 8.

Figura 12 — Avanço Leste com a cota -20 alagada em período de chuva



Fonte: O autor (2024).

Sabendo da futura formação de uma vala no piso da cota -20 leste, iniciou-se o rebaixamento da mina para a cota -25 (profundidade essa definida pois encontrado

água em um furo de sondagem, utilizado para determinar encontro de águas abaixo do solo, próximo a 10m), não somente com o intuito de corrigir este piso, mas também de aumentar a quantidade de frentes de lavra como mostra a figura 13.

Figura 13 — Rebaixamento da mina para a cota -25



Fonte: O autor (2024).

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo hidrogeológico é possível concluir que o aquífero situado nas cotas superiores da Formação Barreiras é permeável e eficiente, onde se encontra selado pela camada impermeável de marga que confina o aquífero pouco fraturado e pouco eficiente das cotas inferiores da cava, que pertence a Formação Gramame.

O balanço hídrico apresenta recarga máxima de 119 mm em junho. A partir de julho, a diminuição dos índices pluviométricos, associada aos elevados índices de evapotranspiração, indicam um déficit hídrico máximo de 123,7 mm em dezembro. O plano de investigação hidrogeológico permite o conhecimento das camadas de calcário do aquífero fraturado situadas nos níveis inferiores, onde se apresentam saturadas com nível d'água subterrâneo conforme encontrado no teste de radiestesia.

Neste trabalho foi visto a importância do alinhamento das operações da mina, desde o planejamento até a movimentação do calcário fragmentado, garantindo que tenham objetivos em comum evitando problemas futuros como o de drenagem apresentado. Foi visto que o direcionamento das águas da chuva para as cotas inferiores da mina é inevitável, porém é evidente que a longo prazo teremos acúmulo de água na vala formada mesmo com a correção do afundamento ocasionado anteriormente durante o avanço leste. O rebaixamento da cota -25 foi uma medida adotada não só para a futura correção desta vala que será formada, mas também para aumento da quantidade de frentes de lavra.

Como medida de sanar o futuro problema de acúmulo de água na vala que surgirá até o rebaixamento alcançar o local afetado, já se iniciou uma pesquisa para adaptar bombas de sucção com capacidade de vazão maior e que suporte pedregulhos e lamas provenientes do pó de calcário. A melhor alternativa através do âmbito teórico até o momento foi a da empresa Itubombas que propôs a aplicação do modelo Weda 100 que para profundidades de até 15 metros possui uma vazão de 840 m<sup>3</sup>/h. O teste segue em fase de contratação para iniciar ainda no primeiro semestre de 2024.

O controle hídrico conforme abordado tem relevante importância para o desenvolvimento do empreendimento e para a sociedade principalmente na questão de impactos ambientais, pelo fato da região próxima possuir uma cultura de catação de caranguejo que serve de subsistência para a população no entorno.

**REFERÊNCIAS**

ASMUS, H. E. **Controle estrutural de deposição Mesozóica nas Bacias da Margem Continental Brasileira**. Revista Brasileira Geociências – SBG. 2017. v. 5.

BARBOSA, J. A. – **Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal** (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. Tese Doutorado, Pós-Grad.Geociências – UFPE. 2007. 331p.

FRANCISCO, P. R. M., SANTOS D. **Climatologia do estado da Paraíba**. Campina Grande: EDUFCH, 2017. 75p.

FONTES, M. **Estudo Hidrogeológico Conceitual da Mina Miramar Caaporã (PB)**. 2022. Não Publicado.

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