



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS



**MONITORAMENTO E CONFERÊNCIA DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE
DRENAGEM SUPERFICIAL DE PILHAS DE ESTÉRIL E REJEITO**

GÉSSICA INÊZ RODRIGUES TEODORO

Ouro Preto
2023

Géssica Inêz Rodrigues Teodoro

**MONITORAMENTO E CONFERÊNCIA DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE
DRENAGEM SUPERFICIAL DE PILHAS DE ESTÉRIL E REJEITO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenharia de Minas.

Área de Concentração: Lavra de Minas
Orientador: Prof. José Fernando Miranda

Ouro Preto
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

T314m Teodoro, Gessica Inez Rodrigues.
Monitoramento e conferência da eficiência do sistema de drenagem superficial de pilhas de estéril e rejeito. [manuscrito] / Gessica Inez Rodrigues Teodoro. - 2023.
34 f.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Mineração a céu aberto. 2. Rejeitos (Mineração). 3. Drenagem - Solos. I. Miranda, José Fernando. II. Universidade Federal de Ouro Preto.
III. Título.

CDU 622.7.097

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Géssica Inêz Rodrigues Teodoro

MONITORAMENTO E CONFERÊNCIA DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL DE PILHAS DE ESTÉRIL E REJEITO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 04 de abril de 2023

Membros da banca

Dr - José Fernando Miranda - Orientador Universidade federal de ouro Preto

Dr - Elton Destro - Universidade Federal de Ouro Preto

Ph D - Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto

José Fernando Miranda, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 28/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Jose Fernando Miranda, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/04/2023, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0516629** e o código CRC **B01D116C**.

Aos meus pais, irmãos, marido e amigos por todo apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, pois sei que diante de tantas dificuldades que já enfrentei, foi a minha fé, que me motivou a não desistir.

Aos meus pais, Maria Aparecida Rodrigues e Raimundo Nonato Teodoro (in memorian), minha tia Maria Francisca de Jesus (in memorian), meu padrao Marcelo de Oliveira Silva, que desde criança, sempre me beneficiaram com as coisas mais valiosas que alguém pode receber, muito amor, momentos de alegria, ensinamentos de simplicidade e humildade, esses valores me fizeram construir um caráter que me orgulho de ter.

Aos meus irmãos, Jefferson Rodrigues Teodoro e Raísse Carla Rodrigues Teodoro, por todos os momentos em família compartilhados, temos nossas turbulências, mas não sei viver sem vocês; não poderia deixar de citar meus cachorrinhos por todo amor recebido: Bidu e Billy e Bobby (in memorian).

Ao meu marido, Marques Diego Fonseca Coelho, por todo amor, apoio, companheirismo, incentivo e momentos de muita felicidade, minha vida ficou muito mais colorida ao seu lado.

Às minhas amigas: Elizete, Kika, Daiane, Cláudia, Vivi, Marisa, Elaine, Antônia, Angela, Vani, Márcia, Flávia, Maria, Kátia, Consola, Amanda, Angélica, Tânia, Camila, Pedro, Saulo, Cristiano, Anderson, Nidinho, Fabiano, Géssinho, Rogerinho (in memorian) e todos meus amigos, por todo amparo, força e finais de semana regados de muita alegria ao lado de vocês.

As minhas companheiras de apartamento, Larissa, Kárita, Amanda, que passaram ao meu lado quase a minha graduação toda e aos meus amigos que conquistei em Ouro Preto, Camila, Antônia, Leninha, Rodolfo, Hiacinthe, Jéssica, Giovanna, Rennan, sei que vocês fizeram muita diferença para minha formação.

Ao meu supervisor Filipi Alves de Melo, toda equipe da Fábrica de Placas/Civil e VMF, pelo conhecimento compartilhado, contribuindo assim para o meu crescimento profissional e pessoal. Deus me presenteou com essa equipe de trabalho maravilhosa.

À gloriosa Escola de Minas, por ter me fornecido, um ensino de qualidade, à Universidade Federal de Ouro Preto no geral, por todo suporte e a Ouro Preto, por ter me proporcionado uma variação de coisas boas.

Ao meu orientador José Fernando Miranda pelas correções, à todos os professores por todos ensinamentos e conselhos.

E a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu pudesse estar tendo essa conquista, que sempre foi um sonho.

RESUMO

A água na mineração, é um elemento de extrema importância, desde a parte da pesquisa, até o seu produto final, porém, sabe-se que ela pode apresentar riscos de estabilidade para a mina, principalmente em momentos de grande índice pluviométrico, dito isso, é necessário que sejam implementados métodos de drenagem, para que essa água em excesso, não comprometa as atividades da mineração e também que ela siga o seu fluxo natural, com uma boa qualidade.

Nesse trabalho será apresentado alguns métodos de drenagem superficial, utilizados em pilhas de estéril ou rejeito, de uma mina de ferro, que usa caixas, alas, escadas, vertedouros, canais de blocos, bacias de decantação, barramento drenante, bermalongas, mostrando suas medidas de acordo com os dados levantados na medição em campo e por fim, averiguar a eficiência quando esses métodos foram submetidos a precipitação de 2022, de acordo com o resumo de pluviosidade, adquirido na estação meteorológica da empresa.

Palavras chaves: mina a céu aberto, drenagem superficial, caixas e alas.

ABSTRACT

Water in mining is an extremely important element, from the research part, to its final product, however, it is known that it can pose stability risks for the mine, especially in times of high rainfall, that said, it is necessary to implement drainage methods, so that this excess water does not compromise mining activities, and also that it follows its natural flow, with good quality.

In this work, some surface drainage methods will be presented, used in a waste rock pile, from an iron mine, which uses boxes, wings, stairs, spillways, channel blocks, decantation basins, draining dam, long berms, showing their measurements according to the data collected in the field measurement and finally, to verify the efficiency. When these methods were subjected to the 2022 precipitation, according to the rainfall summary, acquired at the company's meteorological station.

Keywords: open pit mine, surface drainage, boxes and wings.

LISTA DE FÍGURAS

Figura 1: Imagem lateral da drenagem superficial da mina de ferro	17
Figura 2: Imagem da demarcação dos canais de blocos.....	19
Figura 3: Imagem geral da drenagem superficial da mina.....	20
Figura 4: Desenho esquemático da tubulação.....	21
Figura 5: Elementos da caixa de drenagem.....	22
Figura 5.1: Caixa de drenagem na crista do talude.....	22
Figura 6: Tubo e ala no pé do talude.....	23
Figura 7: Escada na pilha de rejeito.....	23
Figura 8: Vertedouro.....	24
Figura 9: Canal de blocos e bacia de decantação.....	25
Figura 10: Bermalonga.....	26
Figura 11: Representação da direção das contribuições de água.....	28
Figura 12: Representação da área de contribuição.....	28
Figura 13: Medidas da ala no nível 1166.....	30
Figura 14: Medidas da caixa no nível 1166.....	31
Figura 15: Projeto real da escada.....	31
Figura 16: Caixa quebrada.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo da pluviosidade- anual.....	27
Tabela 4: Precipitação e vazão aproximada.....	28
Tabela 5: Elementos geométricos para canais	30

Sumário

1. Introdução	13
2. Objetivo	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivo específico.....	14
3. Fundamentação Teórica	15
3.1. Água na mineração.....	15
3.2. Controle das águas na mineração.....	15
3.3. Problemas de drenagem em lavras a céu aberto.....	16
3.4. Objetivos de drenagem na mina.....	16
3.5. Dimensionamento do sistema de drenagem.....	16
3.5.1. Drenagem superficial.....	17
4. Metodologia.....	18
5. Estudo de casos	19
5.1. Considerações preliminares	19
5.2. Dimensões da pilha.....	19
5.2.1. Sistema de drenagem da pilha.....	20
5.2.2. Dimensionamento dos métodos de drenagem.....	20
5.2.2.1. Passagem de tubos corrugados	20
5.2.2.2. Construção das caixas.....	21
5.2.2.3. Dimensões das caixas.....	22
5.2.2.4. Construção das alas- caixas receptoras.....	22
5.2.2.5. Construção de escadas de drenagem.....	23
5.2.2.6. Vertedouro.....	24
5.2.2.7. Canal de blocos.....	24
5.2.2.8. Bacia de decantação.....	25
5.2.2.9. Bermalonga.....	25
6. Resultados.....	27
6.1. Pluviosidade local	27
6.2. Área de contribuição.....	27
6.3. Cálculo da vazão admissível.....	29
6.4. Medidas das caixas, alas e escadas de drenagem.....	30
7. Conclusões.....	33
Referências.....	34

1. INTRODUÇÃO

Ao falar de mineração, sabe-se que um dos mais importantes elementos a ser considerado, é a água, que faz parte dos processos e operações, porém deve-se obter bastante atenção, pois a água compromete a estabilidade de taludes, levando a ter custos elevados, para fazer sua drenagem. (CARDOSO, 2012)

Esse problema enfrentado na mineração se deve ao fato dela receber elevado volume superficial, devido a precipitação. Para fazer essa retirada do excesso de água, é necessário, sistemas de drenagem profundas ou superficiais, nos taludes, e nas frentes de lavra, no entorno de toda a mina. (URASHIMA, 2020)

Logo, de acordo com o volume de cada região, a frequência com que ocorre, são feitos cálculos de vazões e projetos de drenagem, para a retirada desta água, aumentando a estabilidade dos bancos de taludes da mina. (CARDOSO 2012)

Nesse trabalho, serão apresentados alguns métodos de drenagem, como caixas, alas, canal de blocos, vertedouros, escadas, bacias de decantação, bermalongas, onde serão especificados suas dimensões e eficiência, de acordo com a vazão exposta no período chuvoso de 2022, mostrando por fim, o compromisso de devolver uma água de qualidade ao seu fluxo natural.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Citar os métodos de drenagem superficial e verificar a eficácia deles, durante o período de grande precipitação.

2.2. Objetivo Específico

Fazer o levantamento de como são feitos os monitoramentos do sistema de drenagem da mina de ferro em estudo.

Analisar os dados coletados das medidas das alas, caixas e escadas no monitoramento do sistema de drenagem implantado.

Verificar a eficácia do sistema utilizado, durante o período chuvoso.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. A água na mineração

Para uma mineradora obter sucesso, é preciso que haja um bom conhecimento da água e sua interação com os processos ligados ao empreendimento, desde a fase de pesquisa, lavra e beneficiamento. (RUBIO, 2006)

A água é muito importante em todos os processos, sendo assim se faz necessário, conhecer o local onde a mina se encontra, saber as condições hidrológicas, para que sejam feitos estudos de um melhor sistema de drenagem que seja eficiente e apresente menor custo, nas fases iniciais, até o pós fechamento de mina. (BERTACHINI, 2000)

De acordo com a natureza da jazida, existem tecnologias, para evitarmos ou reduzirmos os impactos hidrológicos com aquele solo, condição climática, onde a mina está situada, a fim de se obter uma boa interação água-mineração, deve ser feito um adequado monitoramento das drenagens dispostas na mina, adequando e adaptando o melhor sistema adotado, para garantir uma boa operação e estabilidade dos taludes e cuidado com o lençol freático. (BASTOS, 2000)

No interior da lavra, a forte presença de água dificulta a exploração da mesma, por apresentar problemas como: decapeamento, escarificação, carreamento e transporte de minério. Além destes aspectos, a afluência de água às zonas de exploração e a presença de água nas formações existentes, pode causar graves instabilidades. Sendo assim, é necessário fazer um estudo detalhado das variáveis climáticas e de solo, para não comprometer a estabilidade da mina. (CHAMPS, 2004)

3.2. Controle das águas em projetos de mineração

Segundo Cardoso (2012) o controle de água na mineração, é feito de acordo com o índice pluviométrico de cada região, avaliando os objetivos que

estão relacionados com a prevenção, redução dos efeitos ou a remoção de água, para tais, pode ser citado:

“Por drenagem ou desvios de água na superfície ou próximo dela.

Interceptar e capturar a água em poços profundos com uso de bombas de drenagem.

Limpar os taludes e construir canais de drenagem. “

3.3. Problemas de drenagem em lavras a céu aberto

Há algumas minas, em que ocorrem um volume muito grande de água, essa evidência é apontada quando a mina está localizada sob o nível piezométrico, de aquíferos livres ou confinados, sendo assim, deve-se bombear a água enquanto ocorrer as atividades de lavra. Por haver esse excesso de água principalmente em algumas regiões, para reduzir a quantidade de água usa-se desvio do escoamento superficial e ainda barreiras geológicas. (ARAÚJO, 2011).

Na mina a céu aberto em estudo, os problemas mais comuns enfrentados, são: excesso de carreamento dos sólidos, causando entupimento das caixas e alas, poças de água nas bermas e erosão dos taludes.

3.4. Objetivos da drenagem de mina

De acordo com Bastos (2000) a drenagem na mina, se faz necessário, pela sua grande importância para que haja uma boa estabilidade dos bancos de talude e não contamine as nascentes.

Nas palavras de Gonçalves (2018, p.44):

“Os sistemas de drenagem em uma mina a céu aberto possuem basicamente três objetivos principais: Interceptar a entrada de água, reduzir danos na estrutura interna e remover a água do interior da cava”.

3.5. Dimensionamento do sistema de drenagem.

Para água superficial que ocorre geralmente através da precipitação ou de outras fontes, é necessário fazer a coleta e o direcionamento para os canais de escoamento no entorno da estrutura, podendo para tal, utilizar drenagem interna, drenagem superficial, canal de blocos de matacões, canaletas, bacias de decantação. (ARAÚJO, 2011)

Para o projeto de drenagem, deve-se fazer uma análise climática, sendo primordial o conhecimento do regime de chuvas, averiguando além dos meses onde ocorre maior intensidade de chuvas na região, como também as metas diárias e mensais do período chuvoso. (CARNEIRO, *et.al.*, 2021)

Para o local deve-se projetar e executar serviços de drenagem e desvios de cursos de água existentes no local, *McCarter* (1990) *apud* Aragão (2008), cita a importância do controle de águas superficiais nas pilhas, com o intuito de reduzir a saturação dos taludes, infiltração da água dentro da pilha, erosão na superfície da pilha e o surgimento de rupturas por fluxo de água.

3.5.1. Drenagem superficial

O projeto da pilha de estéril deve apresentar as locações e a geometria dos dispositivos de drenagem superficial e as especificações dos materiais a serem utilizados. Os tempos mínimos de recorrência recomendados são de 100 anos para dispositivos de pequena vazão, como canaletas de berma e descidas de água entre taludes, 100 anos para os canais periféricos temporários de coleta e condução de águas superficiais, 500 anos para os canais periféricos definitivos de coleta e condução de águas superficiais (ABNT NBR 13029:2017).

Figura 1: Imagem lateral da drenagem superficial da mina de ferro



4. METODOLOGIA

Essa pesquisa foi desenvolvida para analisar a eficácia do sistema de drenagem de uma mina de ferro, durante o período chuvoso. Ela é baseada em dados coletados, durante as medições em campo, onde são levantados os dimensionamentos de caixas, alas, canais de blocos, vertedouros, bacias de decantação, bermalongas. Através desse levantamento é possível saber o tamanho de cada um dos métodos de drenagem superficial utilizados nas pilhas de rejeito e estéril, bem como os materiais, equipamentos, mão de obra e dias gastos para a execução dos mesmos.

Após conhecimento de todas essas variáveis, é coletado os dados da pluviosidade mensal, adquiridos na estação meteorológica da empresa.

Para análise dos resultados deve-se analisar a vazão que a mina recebe durante o período de alta precipitação e assim, adicionar os dados utilizando a fórmula de Manning, para cálculos de vazões em tubos circulares.

5. ESTUDO DE CASO

5.1. Considerações preliminares

O objeto de estudo é o caso de uma mina de minério de ferro, no interior de Minas Gerais, ficando próxima ao Campo das Vertentes. Apresenta solo aluvionar/turfa, solo coluvionar, residual, saprólitos e rocha alterada de filito.

Este estudo de caso, é baseado em um levantamento das medidas do sistema de drenagem e análise da precipitação local, através dessas informações, podem-se perceber como as drenagens superficiais funcionam, suas dimensões e se são eficientes.

Com intuito de promover um adequado escoamento das águas superficiais, apresentar medidas de controle de erosão, devendo ser analisado periodicamente, a medida que a lavra avança.

Figura 2: Imagem da demarcação dos canais de blocos



Fonte: Imagem retirada do QGIS.

Nessa imagem acima a linha vermelha representa a ADA (área diretamente afetada) pela mineração e a linha branca representa os locais onde passam os canais de blocos da mina de ferro.

5.2. Dimensões da pilha

Para a construção de bancos e bermas, foi adotada as seguintes medidas: bancos 6 metros de altura, enquanto as bermas possuem 9 metros de largura aproximadamente, na construção das caixas de drenagem, será passado tubos corrugados fazendo a ligação das bermas e taludes.

Os taludes apresentarão inclinação aproximada entre 30º e 35º a depender da geologia local, sendo assim, as mesmas deverão ser construídas de maneira a se evitar a concentração do fluxo em pontos específicos das pilhas, distribuindo ao máximo o escoamento ao longo dos bancos.

5.2.1. Sistema de drenagem da pilha

Fez-se o dimensionamento de cada nível das pilhas de acordo com o maior fluxo de água recebido, ordenando assim a drenagem superficial. As estruturas propostas, tiveram como objetivo coletar as águas provenientes do escoamento superficial nas pilhas e conduzi-las, de forma alinhada , até os pontos de descarga para seguirem seu fluxo natural, fazendo barreiras necessárias para evitar o carreamento de sólidos e o desenvolvimento de processos erosivos.

Nesse sistema de drenagem, sua estrutura é:

Figura 3: Imagem geral da drenagem superficial da mina



- Criar descidas de água, através de caixas de passagem e caixas de recepção de água, interligadas através de tubulação com tubos corrugados, que possuem a função hidráulica de coletar as vazões provenientes das bermas e conduzi-las de forma ordenada e dissipando energia até os canais de blocos.

- Canais de blocos, canaletas, vertedouros e bacias de decantação de coleta e condução, tendo como objetivo coletar o escoamento proveniente das bermas, e áreas adjacentes, antes de descartar esta água, há um barramento drenante e posteriormente, a bermalonga para fazer a contenção de sedimentos.

Para cálculo da vazão, foi adotado o Método de Manning, para canais circulares.

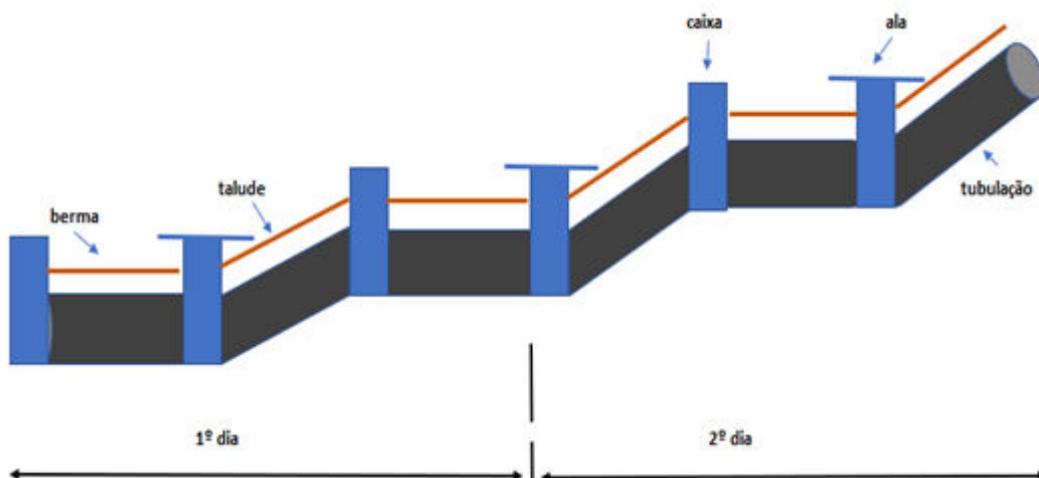
5.2.2. Dimensionamento dos métodos de drenagem

5.2.2.1. Passagem de tubos

São passados tubos *pead kanaflex* corrugados em todos os níveis de taludes, esses tubos apresentam cada um 6 metros, dessa forma, para os bancos são usados a passagem de um tubo e nas bermas são utilizados um tubo e meio.

Faz-se necessário para essa atividade, uma escavadeira, e um oficial, que ajustará o tubo na inclinação adequada, ajustando de acordo com o talude. Em um dia de execução será passado a tubulação em 2 bermas e 1 talude e no segundo dia em 2 taludes e 1 berma e assim sucessivamente, sendo também liberado a construção para 3 caixas em cada dia, conforme imagem esquemática abaixo:

Figura 4: Desenho esquemático da tubulação



5.2.2.2. Construção das caixas

Para a construção das caixas de drenagem, analisa-se o volume de água que percola em cada região da mina. Nesse estudo serão apresentados a construção de caixas, alas e escadas do nível da cava oriental e da pilha de rejeito 02 (PDR02), suas dimensões e eficiência.

5.2.2.3. Dimensões das caixas

As caixas de passagem são aquelas que se encontram na crista do talude e a água apenas passam por elas, elas possuem 2 metros de altura, 2 metros de comprimento e 2 metros de largura aproximadamente, foram construídos, colocando ferro em U, espaçados a cada 0,2 metros um do outro e envoltas por estribo a cada 0,2 metros também, possuindo 1 treliça a cada lateral e cinta acima da alvenaria. Para a execução de cada caixa, é preciso uma equipe de 3 pessoas, sendo 2 ajudantes e 1 oficial, essa mesma equipe gastará aproximadamente 3 dias para que a caixa fique pronta.

Figura 5: elementos da caixa de drenagem Figura 5.1: caixa de drenagem na crista



5.2.2.4. Construção das alas – caixas receptoras de água

São ditas alas, as caixas que recebem água, elas ficam no pé do talude e recebem água das caixas de passagem e também das bermas que a interligam. Essas alas, possuem aproximadamente, uma caixa de 2 metros de altura, 2 metros de largura e 2 metros de comprimento, possuem um vão de 1,20 de largura e 1,20 de comprimento e 2 paredes nas laterais de 1,30 de altura e 1,20 comprimento, como as caixas estas também possuem ferros em

U a cada 0,2 metros e estrivos a cada 0,2 metros também, 1 treliça em cada lateral, gastando um total de 6 treliças. Para a execução de cada ala, é preciso uma equipe de 3 pessoas, sendo 2 ajudantes e 1 oficial, essa mesma equipe gastará aproximadamente 4 dias para que a ala fique pronta.

Figura 6: Tubo e ala no pé do talude



5.2.2.5. Construção de escadas de drenagem

As escadas comumente são construídas por 6 degraus tendo cada um aproximadamente 3 metros de largura, 1,20 metros de comprimento, e espelho de 0,9 metros, possuem fechamento nas laterais e 2 tubos corrugados em sua parede inferior e superior, sendo através desses tubos o recebimento das águas pluviométricas. Para a execução dessa escada é preciso uma equipe de 3 pessoas, gastando 18 dias.

Figura 7: Escada na pilha de rejeito



5.2.2.6. Vertedouros

Vertedouros são utilizados para verterem a água, dessa forma, para que não haja um transbordamento de água entre as bacias de decantação, existem vertedouros que retiram o excesso de água e vertem essa água para outra bacia de decantação (BD), eles são construídos com aproximadamente 6 metros de comprimento, 2, 5 metros de largura, paredes laterais, cintas acima das alvenarias, ferro em U a cada 0,2 metros, inclinação pequena a depender da geologia do local.

Figura 8: Vertedouro



5.2.2.7. Canal de blocos:

Os canais de blocos, são criados utilizando matacões e concreto de 15 MPA, esse canal é feito com a escavadeira, ficam no canto esquerdo ou direito da mina, onde são depositados os matacões e em seguida com o auxílio de um mangote é depositado o concreto para deixar a superfície impermeabilizada.

Figura 9: Canal de blocos e bacia de decantação



5.2.2.8. Bacia de decantação

De acordo com Bastos (2000) as bacias de decantação são utilizadas diante a grande quantidade de sólidos carregados pela água, assim esses tanques de decantação, incorporados nos sistemas de drenagem, melhoram a qualidade dos efluentes antes de os devolver ao meio ambiente .

Em geral, os poços de decantação devem ser desassoreados sempre que for detectada a necessidade. Na empresa XXX, para haver esse desassoreamento são utilizados escavadeiras e caminhões para fazer a limpeza da bacia.

5.2.2.9. Bermalonga

As bermalongas são usadas juntamente em alguns casos ao barramento drenante para fazer a filtragem da água, que será liberada para seguir seu fluxo natural. Essas bermas longas são colocadas perpendiculares ao fluxo da água, elas são um amontoado de palha em formato cilíndrico, envoltas por manta geotêxtil, chamada de bidim, que irá ajudar na retenção de partículas sólidas provenientes do carregamento, vindo da água pluvial que percola na mina.

Figura 10: Berma longa



6. RESULTADOS

6.1. Pluviosidade local

Para análise dos resultados, observou-se o período chuvoso de 2022, verificando que os períodos com chuva mais forte são: janeiro, fevereiro e dezembro. Esses dados foram coletados através da estação meteorológica da empresa, que fornece o relatório pluviométrico da região.

Segue abaixo, a tabela da pluviosidade dos últimos anos.

Tabela 1: Resumo da pluviosidade anual

Resumo Pluviosidade - Anual									
Mês	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Janeiro	49,10	301,76	187,30	177,20	30,00	633,50	87,90	619,80	525,60
Fevereiro	253,35	94,80	111,20	200,30	345,70	301,30	258,30	435,80	234,20
Março	271,35	120,00	90,60	158,90	194,70	181,70	106,80	35,40	74,60
Abril	19,20	63,70	3,70	30,10	71,00	82,20	15,6	60,80	
Mai	54,90	0,00	38,80	3,90	9,70	32,30	27,90	10,60	
Junho	19,40	55,00	41,70	8,40	10,80	0,00	0,40	3,40	
Julho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	
Agosto	8,50	12,70	0,00	69,20	13,50	14,50	3,60	10,80	
Setembro	128,40	31,30	13,60	70,20	85,10	27,60	12,80	80,40	
Outubro	32,70	103,70	93,00	150,00	70,70	108,10	280,20	124,00	
Novembro	243,10	242,40	339,70	267,30	205,00	258,20	123,40	195,20	
Dezembro	144,90	252,40	185,50	142,80	267,00	278,30	328,60	431,00	
TOTAL	1234,90	1387,74	1105,10	1278,38	1303,20	1917,95	1295,70	1997,20	834,40

Fonte: Estação meteorológica

6.2. Área de contribuição

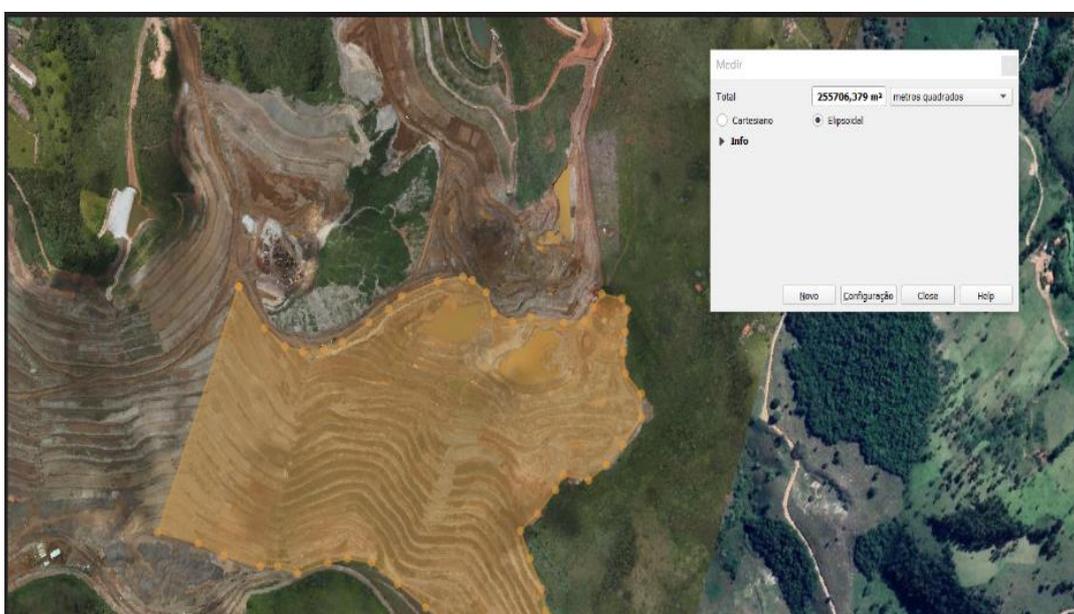
De acordo com os levantamentos feitos através do QGIS, a área de influência hidrográfica possui um total de 255706,4 m².

Figura 11: Representação da direção das contribuições de água



Fonte: Imagem do QGIS

Figura 12: Representação da área de contribuição



Fonte: Imagem retirada do QGIS

Tabela 2: Precipitação e vazão aproximada

Mês	precipitação (mm)	quantidade de dias	índice pluviométrico (mm/h)	índice pluviométrico (m/h)	área de estudo (m ²)	Vazão: Fórmula= área x índice pluviométrico (m ³ /h)
janeiro	619,8	31	0,833064516	0,000833065	255706	213,0199109
fevereiro	435,8	28	0,648511905	0,000648512		165,8286309
dezembro	431	31	0,579301075	0,000579301		148,1309803

Fonte: dados da estação metereológica e adição de cálculo estimado de vazão.

Para cálculo da vazão real, foi analisado os dados dos três meses de maior ocorrência de precipitação (janeiro, fevereiro e março), considerando o mesmo como uma premissa. Sendo assim, basta dividir cada mês (janeiro, fevereiro e março) pela quantidade de dias que cada um tem durante o mês (31, 28 e 31) e em seguida dividir o valor por 24 horas, logo após basta multiplicar pela a área de influência (255706 m²), conforme mostrado acima.

6.3. Cálculo da vazão admissível

Os cálculos da vazão foram realizados, através de dados coletados no projeto de drenagem da empresa, utilizando a equação da continuidade de Manning, para escoamentos livres em regime permanente, como segue abaixo.

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}$$

(Q)= Vazão admissível (vazão máxima)

(A)= área

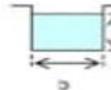
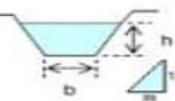
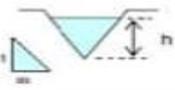
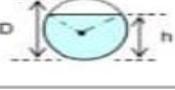
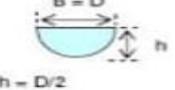
(V)= Volume

(n)= representa o coeficiente de rugosidade de Manning. Esse coeficiente depende do revestimento da calha de cada um dos dispositivos de drenagem propostos. Para os dispositivos de drenagem com acabamento em concreto liso, o (n) utilizado foi igual a 0,015, porém, para as descidas de água em tubos de PVC adotou-se (n) igual a 0,010.

(J)= denota a declividade de fundo de um dado dispositivo de drenagem, em m/m. Ressalta-se que os dispositivos de drenagem tiveram suas declividades mínimas de fundo iguais a 3,0%. Para as descidas de água projetadas por tubos de PVC adotou-se no dimensionamento hidráulico a declividade de 3,0 %, referente à declividade mínima associada ao trecho de influência das bermas.

(D) equivale ao diâmetro do tubo, sendo 1m.

Tabela 3: Elementos geométricos para canais.

Forma da seção	Área (A) (m ²)	Perímetro molhado (P) (m)	Raio hidráulico (R) (m)	Largura do Topo (B) (m)
	$b \cdot h$	$b + 2h$	$\left(\frac{A}{P}\right) = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$	b
	$(b + m \cdot h) \cdot h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{A}{P}$	$b + 2 \cdot m \cdot h$
	$m \cdot h^2$	$2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{A}{P}$	$2 \cdot m \cdot h$
	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen} \theta) D^2$ $\theta = \text{RAD}$	$\frac{\theta \cdot D}{2}$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta}\right) D$	$\left(\frac{\text{sen} \theta}{2}\right) D$
	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4} = \frac{h}{2}$	$D = 2h$

Obs.: $\theta = 2 \cdot \arccos(1 - 2h/D)$, onde θ deve ser calculado em **radianos**.

Fonte: professor Adão Wagner Pêgo Evangelista, condutos livres ou canais.

Segue abaixo os cálculos de acordo com as informações coletadas no projeto de drenagem e na tabela de elementos geométricos para canais.

$$Q = ?; A = 0,3925; n = 0,010; R = 0,25; J = 0,03.$$

$$Q = 2,69 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.4. Medidas das caixas, alas, escadas de drenagem

As medidas foram coletadas em campo, apresentando uma pequena variação do projetado.

Figura 13: Medidas da ala no nível 1166

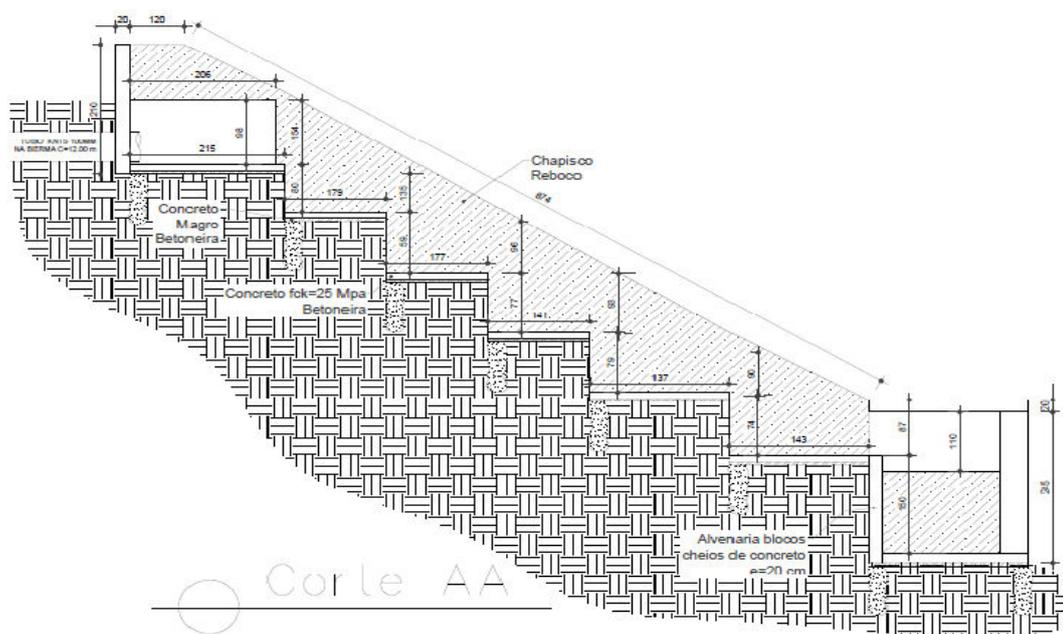
OBRA	DRENAGEM NA ORIENTAL - DTC					
	Local	Comprimento (m)	Profundidade (m)	Media		Comprimento total
				Comp.(m)	Prof. (m)	
ALA DO PE DO TALUDE 1166	LATERAL ESQUERDA DA ALAS	1,53	1,21	1,56	1,23	8,74
	LATERAL DIREITA DA ALAS	1,58	1,24			
	PAREDE INFERIOR - EXTERNA - DAS ALAS	4,33	1,19	ÁREA EXTERNA		
	PAREDE SUPERIOR - EXTERNA - DAS ALAS	4,33	1,23	4,33	1,21	
	PAREDE INFERIOR - INTERNA ALA ESQUERDA	1,88	1,93	ÁREA INTERNA		Piso Esquerdo
	PAREDE SUPERIOR - INTERNA ALA ESQUERDA	1,88	1,93	ÁREA INTERNA		
	PAREDE INFERIOR - INTERNA ALA DIREITA	1,85	1,93	1,88	1,93	
	PAREDE SUPERIOR - INTERNA ALA DIREITA	1,85	1,93	ÁREA INTERNA		2,02
	VÃO ESQUERDO ALA ESQUERDA	1,21	1,00	1,85	1,93	
	VÃO DO MEIO DAS ALAS	0,00	0,00	ÁREA INTERNA - VAO		
	VÃO DIREITO ALA DIREITA	1,23	0,96	0,81	0,65	
	PAREDE ESQUERDA ALA ESQUERDA - EXTERNA	1,80	1,21	ÁREA EXTERNA		Piso Direito
	PAREDE ESQUERDA ALA ESQUERDA - INTERNA	1,60	1,93	1,81	1,21	
	PAREDE DIREITA ALA ESQUERDA - EXTERNA	1,81	1,21	ÁREA INTERNA		
	PAREDE DIREITA ALA ESQUERDA - INTERNA	1,61	1,93	1,61	1,93	
	PAREDE ESQUERDA ALA DIREITA - EXTERNA	1,80	1,24	ÁREA EXTERNA		2,88
	PAREDE ESQUERDA ALA DIREITA - INTERNA	1,60	1,93	1,81	1,24	
	PAREDE DIREITA ALA DA DIREITA - EXTERNA	1,82	1,24	ÁREA INTERNA		
	PAREDE DIREITA DA DIREITA - INTERNA	1,64	1,93	1,62	1,93	

Fonte: Medição 11

Figura 14: Medidas da caixa no nível 1166

OBRA	Local	Comprimento (m)	Profundidade(m)	Media	
				Comp.(m)	Prof. (m)
				CAIXA DA CRISTA DO TALUDE 1166	PAREDE INFERIOR- CAIXA ESQUERDA - EXTERNA
PAREDE INFERIOR- CAIXA ESQUERDA - INTERNA	1,58	2,02			
PAREDE SUPERIOR- CAIXA ESQUERDA- EXTERNA	1,95	1,96	1,58		2,02
PAREDE SUPERIOR- CAIXA ESQUERDA - INTERNA	1,58	2,02			
PAREDE ESQUERDA- CAIXA ESQUERDA - EXTERNA	2,01	2,09	2,01		1,91
PAREDE ESQUERDA- CAIXA ESQUERDA - INTERNA	1,68	2,02			
PAREDE DIREITA- CAIXA ESQUERDA- EXTERNA	2,00	1,72	1,64		2,02
PAREDE DIREITA-CAIXA ESQUERDA - INTERNA	1,60	2,02			
PAREDE INFERIOR - CAIXA DIREITA- EXTERNA	1,99	0,97	1,99		1,27
PAREDE INFERIOR- CAIXA DIREITA - INTERNA	1,60	2,04			
PAREDE SUPERIOR- CAIXA DIREITA - EXTERNA	1,99	1,56	1,60		2,04
PAREDE SUPERIOR- CAIXA DIREITA - INTERNA	1,60	2,04			
PAREDE ESQUERDA- CAIXA DIREITA - EXTERNA	1,98	1,71	1,98		1,64
PAREDE ESQUERDA- CAIXA DIREITA - INTERNA	1,57	2,04			
PAREDE DIREITA- CAIXA DIREITA - EXTERNA	1,97	1,57	1,58		2,04
PAREDE DIREITA- CAIXA DIREITA- INTERNA	1,58	2,04			

Figura 15: Projeto real da escada



Fonte: medição 12.

De acordo com a análise realizada no período chuvoso de 2022, foi observado que nenhum dos métodos foi ineficiente, mostrando assim que caixas, alas e escadas que obtiverem as medidas aproximadas às apresentadas no estudo acima, quando submetidas a precipitação comparável a da região da empresa XXX, seguindo os mesmos métodos, poderão ter garantia de eficiência na mina.

Houve apenas um caso de quebra da caixa, ou seja, esta caixa não apresentou resistência adequada para a vazão de água daquele local.

A principal causa levantada para esse problema, foi chuva intensa, a caixa ainda estava em construção, faltando ferros e treliça, com isso, ela tombou e quebrou.

Segue abaixo foto da evidência, onde a caixa apresenta-se quebrada.

Figura 16: caixa quebrada



7. CONCLUSÃO

De acordo com o acompanhamento das medições em campo, é possível monitorar o sistema de drenagem superficial da mina de ferro, adquirindo o dimensionamento dos métodos e suas variáveis.

Através de informações coletadas durante a medição obteve-se o tamanho de cada constituinte do sistema de drenagem: caixas, alas, vertedouros, canais de blocos, bacias de decantações, bermalongas, possibilitando também, saber a quantidade de dias gastos para a execução, equipe necessária e materiais utilizados.

Portanto, ao coletar todos os dados do sistema de drenagem e sabendo a precipitação durante o período chuvoso de 2022, nota-se que neste ano em análise, houve uma boa eficácia dos métodos de drenagem presentes na mina.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, M. J. N. (2000). **Aspectos Sobre Sistemas de Drenagem em Pedreiras a Céu Aberto**. Paço de Arcos: Visa Consultores, 2000. 5 p. (Comunicações Técnicas).
- BENEVENUTE, F.D (2021). **Análise e Diagnóstico do Sistema de Drenagem com Vant e Integração ao Planejamento de Mina**.
- CARDOSO, J.R.C. (2012). **Drenagem superficial de mina, caso: Mina de bauxita de Porto Trombetas-PA**. Marabá
- CARNEIRO, B. M, (2021), FAJARDO, K.C.B., FONSECA, M.M E FREITAS, P.M.C. **Sistema de Drenagem Pluvial: um estudo de caso sobre a determinação de vazões para o dimensionamento dos dispositivos em uma obra de implantação de produção de ferro**.
- CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. **Bauxita. Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. CETEM. Rio de Janeiro, 2008 P,311-337.
- CHAMPS, JOSÉ ROBERTO. **Introdução à Drenagem Urbana**. Belo Horizonte-MG. 2004. p.24-31.
- CLAUDINO, C. U.L e MENDONÇA, P.A. **Projeto Geométrico, Drenagem E Estabilidade De Uma Pilha De Estéril – Estudo De Caso**.
- EVANGELISTA, A.W.P, **Condução de água, Universidade Federal de Goiás- Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, setor de Engenharia Rural**.
- JÚNIOR, P.B.T e LEITE, C.B.B. **Estudos De Drenagem Superficial Aplicados Às Minas A Céu Aberto**.
- NEVES.J (2022). **Medição 011**
- SILVEIRA, M.L. (2014). **Drenagem de Minas de Bauxita na região de poços de caldas. Poços de caldas**.
- TEIXEIRA, R.R, (2017). **Projeto Técnico De Drenagem**.
- URASHIMA, B.M.C, LUIZ, E., PASTORI, M.P.A., JARDIM, D.R, (2020). **Obras de Drenagem Superficial em Minas a Céu Aberto de Minério de Ferro. Estudo de Caso: Mina do Andrade**. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.