

FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS
Centro de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica

BARBARA MARQUES CARNEIRO
KEVEN COSTA BARBOSA FAJARDO
MICHELLE MARCUCI FONSECA

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

BELO HORIZONTE – MG
DEZEMBRO – 2021

BARBARA MARQUES CARNEIRO
KEVEN COSTA BARBOSA FAJARDO
MICHELLE MARCUCI FONSECA

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

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (FEAMIG), como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Obra Cívica

Orientador de conteúdo: Paulo Mario Cruz de Freitas

Co-orientador: Marcos Marques

Orientadoras de Metodologia: Gabriela Parreira Fonseca Gregório e Raquel Ferreira de Souza

BELO HORIZONTE – MG
DEZEMBRO – 2021

Carta de Aceite

O trabalho intitulado "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", submetido em "23/11/2021" foi aceito para publicação e será publicado em até 30 dias na Revista Research, Society and Development - ISSN 2525-3409.

O trabalho é de autoria de:

Barbara Marques Carneiro, Keven Costa Barbosa Fajardo, Michelle Marcuci Fonseca e Paulo Mário Cruz de Freitas.

São Paulo, 02 de dezembro de 2021.



Dr. Ricardo Shitsuka
Editor



FEAMIG

FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS

Instituto Educacional Cândida de Sousa

Trabalho de conclusão de curso intitulado “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”, de autoria dos alunos Barbara Marques Carneiro Keven Costa Barbosa Fajardo Michelle Marcuci Fonseca, aprovados pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof: _____

Prof.º Ms. Paulo Mario Cruz de Freitas
Orientador

Prof: _____

Professor. Dr. ou Ms. Nome completo
Membro da Banca

Prof: _____

Professor. Dr. ou Ms. Nome completo
Membro da Banca

Rua Gastão Bráulio dos Santos, 837 - Nova Gameleira - Belo Horizonte, MG - (31)

3372-3703. www.feamig.br e-mail: feamig@feamig.br

AGRADECIMENTOS

Ficamos gratos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Inicialmente, agradecemos a Deus por estar sempre presente em nossas vidas, tornando tudo possível e que, iluminou-nos e colocou em a nossa volta, pessoas das quais pude contar tornando possível concluir mais esta fase.

Agradecemos às nossas famílias que, em meio às dificuldades, me incentivou.

Hoje, nós sabemos que a aprendizagem é adquirida passo a passo, sem pressa, mas com a certeza da chegada.

Agradecemos Senhor.

“As montanhas da vida não existem apenas para que você chegue ao topo, mas para que você aprenda o valor da escalada.”

Autor desconhecido

RESUMO

O presente estudo considera a realidade de uma mineradora denominada MinerXYZ e a descrição da memória de cálculo para o dimensionamento do projeto do sistema de drenagem pluvial. Parte-se do projeto de drenagem da Mina chamada S-1 voltando-se ao adequado direcionamento do fluxo superficial ao longo dos platôs e dos acessos, com o uso de dispositivos de drenagem, de forma a direcioná-los para as bacias de decantação ou local de desague seguro. Buscou-se saber quais os cuidados a serem observados na execução de um projeto técnico de drenagem pluvial para uma planta de exploração de minério. O objetivo desse estudo foi conhecer as principais etapas para se executar um projeto de drenagem pluvial com base no estudo de caso em uma mineradora. A metodologia é exploratória e descritiva (uma ou outra?) em que optou pelo estudo de caso em uma mineradora de minério de ferro (já foi falado anteriormente que foi na mineradora) e, em específico, a Minas S1 para descrever o funcionamento das redes de micro e macrodrenagem em plantas de exploração de minério. Como resultados pôde-se verificar que a eficiência do sistema de drenagem pluvial para a Mina SII mostrou-se com resultado conclusivo, respeitando o período de observação adequado, que fundamenta a construção dos elementos estruturantes do sistema de drenagem para esta unidade e avaliando a sua dinâmica no período de maior intensidade de precipitações. Concluiu-se pela importância e a necessidade de se contar com um projeto de sistema de drenagem, considerando alguns recursos necessários já existente na Mina SIII com um alinhamento para elaboração e adequação da atividade na rotina do empreendimento.

Melhorar texto.

Palavras-chave: Drenagem; Pluvial; Mineração; Projeto.

ABSTRACT

This study considers the reality of a mining company called MinerXYZ and the description of the calculation memory for the dimensioning of the rainwater drainage system project. It is part of the mine called S-1 drainage project, revolving the direction of surface flow over a long period of two plates and two accesses, with the use of drainage devices, in order to direct them to settling basins or safe room drainage. Find out what precautions will be observed in the execution of a technical rainwater drainage project for a mining exploration plant. The aim of this study was to know the main steps for carrying out a rainwater drainage project based on a non-mining case study. An exploratory and descriptive methodology in which it opted for a case study in an iron mining miningand, specifically, Minas S1 to decree or operation of micro and macro drainage networks in mineral exploration plants. As a result, it can be verified that the efficiency of the Mina SII rainwater drainage system presented a conclusive result, respecting the adequate observation period, supporting the construction of two structural elements of the drainage system of this unit and validating its dynamics. No period of greater intensity of precipitation. It is concluded that the importance of the need to be accounted for as a drainage system project is considered, considering some necessary resources that already exist in Mine SIII, in this way, we provide a supply for the elaboration and adequacy of the activity in the business cycle.

Keywords: Drainage; Rainwater; Mining; Project.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas ANM – Agência Nacional de Mineração

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente C

OPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

DN – Deliberação Normativa

HMS – Hydrology Modeling System

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração I

DF – Intensidade-Duração-Frequência

LA – Licenciamento Ambiental

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragem

RAS – River Analysis System

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SINIMA – Sistema Nacional de Informações Sobre o Meio Ambiente

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SMM – Secretaria de Minas e Metalurgia

SNISB – Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragem

TR – Tempo de Recorrência

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da bacia de amortecimento	21
Figura 2 – Diques	14
Figura 3 - Representação de perfil e planta dos componentes de isolamento e canalização de águas pluviais circunda à bancada	17
Figura 4 - Cava com dois métodos de remoção de água	35
Figura 5 - Variação dos custos do sistema de drenagem em função precipitação do projeto adotada	36
Figura 6 – Visão de parte do Projeto S	36
Figura 7 - Projeto Salobo III – Drenagem Pluvial	38
Tabela 2 – Estudo hidrológico da região de Marabá	47
Figura 8- Posto pluviométrico N5 – Mina S III	40
Figura 9 – Visão geral do projeto de drenagem da Mina SIII	46
Figura 10 – Visão dos elementos próximos a usina de concentração da Mina SIII .	54
Figura 11 – Bacias de decantação	55
Figura 12 – Arranjo do canal de Rejeito	56
Figura 13 – Arranjo do canal de rejeito da Mina S III	58
Figura 14 – Considerações sobre a operação de britagem	59
Figura 15 – Exemplo de caixa de retenção	60
Figura 16 – Dimensão da caixa de retenção CR – E- 02B	60
Figura 17 – Descida da água no interior da caixa de retenção	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Divisão do sistema de drenagem	19
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medidas estruturais no sistema de drenagem	20
Quadro 2 – Valores para o coeficiente de deflúvio	42
Quadro 3 – Valores para o TR	43
Quadro 4– Valores das contribuições industriais da usina	49
Quadro 5 – Contribuições industriais da usina – constantes e eventuais – Pluvial usina e pluvial canal	57
Quadro 6 – Elementos estruturantes do Projeto detalhado SIII	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Contexto de pesquisa.....	13
1.2 Problemas de pesquisa.....	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo geral.....	14
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 Justificativa	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Distinção de conceitos: enchente, inundações e sistema de drenagem	18
2.2 Medidas estruturais	20
2.2.1 Reservatório e bacias de amortecimento.....	21
2.2.2 Dique	22
2.3 Sistema de drenagem para plantas de exploração de minério de ferro	24
2.4 Esgotamento de cava céu aberto e de cavidades subterrâneas	27
2.4.1 Fatores relacionados a drenagem em Lavras a céu aberto.....	28
2.4.2 Sobre o planejamento mineiro	29
2.5 Metodologia de projeto de drenagem	31
2.5.1 Topografia.....	31
2.5.2 Hidrologia.....	31
2.5.3 Estudos de projeto	33
2.6 Dimensionamento do sistema de drenagem.....	37
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Pesquisa quanto aos fins.....	40
3.2 Pesquisa quanto aos meios.....	40
3.3 Natureza da Pesquisa.....	41
3.4 Método a ser utilizado	42
3.5 Universo e Amostra	42
3.6 Análise e Coletas dos Dados	43
3.7 Limitações de Pesquisa	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Sistema de Drenagem Pluvial no contexto de usina	44

4.2 Redes de micro e macrodrenagem em plantas de exploração de minério	47
4.2.1 Estudos Hidrológicos	47
4.2.2 Metodologia para dimensionamento	47
4.2.3 Dimensionamento Hidráulico	57
4.2.4 Dimensionamento Hidráulico – Metodologia	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo traz como pano de fundo, a água, que sempre encontra seu caminho de percolação, mas sempre que o homem intervém, o equilíbrio natural pode ser facilmente perturbado e o fluxo natural da, passa a ser interrompido. A água pode desencadear forças destrutivas e causar danos substanciais a casas e edifícios, inundando estradas e áreas inteiras e transformando campos agrícolas em zonas úmidas

O foco é dado à questão da drenagem de superfície envolve a remoção do excesso de água da superfície do solo. Os sistemas de drenagem incluem todas as tubulações dentro de uma propriedade privada ou pública que transportam rejeito, água da chuva e outros resíduos líquidos para um ponto de disposição. O principal objetivo de um sistema de drenagem é coletar e remover resíduos de forma sistemática para manter as condições saudáveis em um edifício. Isso é feito removendo os pontos baixos onde a água se acumula pela formação de terrenos ou pela escavação de fossos ou uma combinação de ambos (TEIXEIRA JÚNIOR, 2015).

1.1 Contexto de pesquisa

É preciso repensar os sistemas oferecendo soluções inovadoras para coleta, drenagem, tratamento, retenção e reutilização de águas pluviais. Eles podem ser encontrados em qualquer lugar e em qualquer lugar: na drenagem de estradas e caminhos, no manejo de águas pluviais, na drenagem agrícola e na drenagem das edificações.

Um sistema de drenagem (tubulação de drenagem) inclui toda a tubulação dentro de instalações públicas ou privadas, que transporta rejeitos , água da chuva ou outros resíduos líquidos para um ponto legal de descarte, mas não inclui a rede de um sistema ou uma estação de tratamento ou eliminação de rejeitos (LOURA, 2011).

Para realizar as suas atividades de extração, processamento e expedição de minérios na mina S-1, é necessário contar com a elaboração de um projeto

técnico de sistema de drenagem, com o intuito de promover o escoamento das águas superficiais pluviais.

Nesse sentido, considera-se a realidade de uma mineradora denominada MinerXYZ e a descrição da memória de cálculo para o dimensionamento do projeto do sistema de drenagem pluvial.

Tem-se a observação de elementos tais como:

- Coleta de dados climatológicos, pluviométricos para a caracterização do clima da região de interesse;
- Análise das condições topográficas da localidade, com identificação dos divisores que possibilitam o conhecimento das áreas de contribuição;
- Observações de campo que possibilitaram a estimativa de parâmetros relativos ao solo, tipo de cobertura vegetal, determinação de percentagens de áreas permeáveis e impermeáveis, permitindo a verificação "in loco" das condições de funcionamento de eventuais estruturas hidráulicas existentes na área de influência do projeto;
- Arranjo geral de implantação, objetivando identificar as condições necessárias ao desenvolvimento do sistema de drenagem pluvial superficial que irá atender a áreas de influência do projeto.

Nesse sentido, considera-se a realidade de uma mineradora denominada MinerXYZ e a descrição da memória de cálculo para o dimensionamento do projeto do sistema de drenagem pluvial. O projeto de drenagem da Mina chamada S-1, refere-se ao adequado direcionamento do fluxo superficial ao longo dos platôs e dos acessos, com o uso de dispositivos de drenagem, de forma a direcioná-los para as bacias de decantação ou local de desague seguro.

1.2 Problema da pesquisa

Quais os cuidados a serem observados na execução de um projeto técnico de drenagem pluvial para uma planta de exploração de minério?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Conhecer as principais características para se executar um projeto de drenagem pluvial com base no estudo de caso em uma mineradora.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram assim estruturados:

- a) Correlacionar os principais termos e conceitos relacionados ao Sistema de Drenagem Pluvial no contexto de usina;
- b) Descrever o funcionamento das redes de micro e macrodrenagem em plantas de exploração de minério; e
- c) Conhecer os aspectos de uma obra de Drenagem Pluvial baseado no estudo de caso proposto.

1.4 Justificativa

Faz-se necessário entender a dinâmica do Sistema de Drenagem Pluvial para o contexto das mineradoras, do processo executivo recorrentes no mesmo, assim como é da máxima importância abordar as possibilidades de recuperação, que é, de certa maneira, uma forma de contribuir para um melhor nível de qualidade da gestão dos rejeitos do processo produtivo e de segurança para trabalhadores e da própria população, por estarem mais expostas nas zonas de risco.

O estudo permite compreender os aspectos principais de dimensionamento do sistema de drenagem pluvial para plantas de exploração mineral, com ênfase no arranjo das plantas de minério de ferro, sob a ótica da rede de macrodrenagem para captação de águas pluviais e dos problemas frequentes neste contexto. Não obstante, será possível compreender a intensificação dos processos de erosão, o transporte e a deposição de

sedimentos, bem como o lançamento de rejeitos nos canais que podem desencadear em uma aceleração significativa do processo de desgaste estrutural dos canais em concreto.

A realização desse estudo se justifica, também, diante da necessidade de se ter um plano de ação e manutenção que inclua a remoção dos depósitos por dragagem, bem como a proteção contra a abrasão causada pelo transporte de sedimentos nos pontos críticos dos canais, tem se revelado uma operação onerosa e ineficaz e responde por aumentos nos custos operacionais de obras hidráulicas.

Além disso, a relevância do tema está no entendimento das soluções para os canais de macrodrenagem que têm apresentado um acentuado desgaste de suas lajes de fundo, levando, em alguns casos, até mesmo ao colapso estrutural. Diversas galerias, apresentam-se com o fundo desprovido da laje, que foi erodida por processo abrasivo provocado pelo material particulado em suspensão e arrastado pelas águas e precisam de ações de recuperação.

Este estudo pode contribuir com o conhecimento, sendo mais uma fonte de pesquisa, para profissionais e estudantes interessados na área de drenagem de áreas pluviais. Além disso, conta-se também a realização dos serviços de inspeção de canais, seguidos dos respectivos diagnósticos estruturais, de forma a verificar a associação das inundações porventura ocorridas com a situação da estrutura existente.

Acredita-se que, desta forma, tem-se a possibilidade de verificar a associação das inundações porventura ocorridas com a situação da estrutura existente e propor intervenções de manutenção preventiva e corretiva de curto, médio e longo prazo, nos locais sujeitos a acidentes devido a obstruções em pontos localizados, colapso de galeria e outros problemas de relevância que afetam o perfeito funcionamento dos sistemas de drenagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Distinção de conceitos: enchente, inundações e sistema de drenagem

Enchente e inundação não têm o mesmo significado. São termos próximos, porém distintos no que se refere aos seus limites conceituais. A diferença fundamental é que o primeiro termo diz respeito a uma ocorrência natural, que normalmente não afeta diretamente a população, tendo em vista suaciclicidade. No que se referem às inundações, estas são decorrentes de modificações no uso do solo e podem provocar danos de grandes proporções. Nesse sentido têm-se os esclarecimentos dados pela UNESP¹ (2001):

(...) Enchente (ou cheia) - temporária elevação do nível d'água normal da drenagem, devido a acréscimo de descarga. Inundação - tipo particular de enchente, onde a elevação do nível d'água normal atinge tal magnitude que as águas não se limitam à calha principal do rio, extravasando para áreas marginais, habitualmente não ocupadas pelas águas.

São as atividades antrópicas (aquelas realizadas pela ação humana) que tem provocado alterações e impactos no ambiente; além dos efeitos da degradação ambiental e do esgotamento dos recursos naturais os resultados são as frequentes inundações em áreas densas e também de plantas de exploração mineral. Dentre as possibilidades para se evitar grandes transtornos por ocasião de uma inundação está a determinação dos limites para a ocupação do solo.

Segundo Tucci (2013, p.52) as enchentes são consequência de dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma integrada:

- Inundações de áreas ribeirinhas - os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado em média a cada 2 anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação;
- Inundações devido à urbanização - as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamentos;

¹ UNESP – Setor de Geologia Ambiental. Apostila: Enchentes e inundações. 2001.

Estas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos, em média com tempo de retorno superior a dois anos.

Rios (2011) de uma maneira sintetizada e generalizada consideram que muitos se referem a inundações como um tipo de enchente. Uma lógica fica estabelecida, quando se usa o termo inundações, ter-se em mente que se trata também de enchentes. Os inúmeros autores tratados ao longo desse estudo ora se referem aos eventos como inundações, ora se referem como enchentes.

Outro conceito básico relacionado ao tema é a drenagem pluvial que segundo Vaz *et. al* (2004, p.21) se refere ao conjunto de medidas que visam minimizar os riscos à que está sujeita a população bem como diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento de forma equilibrada, articulada e sustentável. “Ou seja, a drenagem nada mais é do que o gerenciamento da água da chuva que escoar no meio”.

Neto (2010, s.p) afirma que um sistema de drenagem pluvial adequado é aquele que promove “o sumiço das águas da chuva após a sua benéfica ocorrência sem causar transtornos ao funcionamento normal da área”. Em seguida explica que a inundação de uma área é decorrente de um inadequado sistema de drenagem ou mesmo da sua inexistência.

O sistema de drenagem faz parte integrante do processo de desenvolvimento,, seja ele feito sobre uma área virgem ou já urbanizada (reurbanização). A sua solução completa e adequada, somente será conseguida através da solução simultânea, de cada um dos seus componentes intrínsecos: uso do solo, adequado sistema viário, estabilidade dos solos e drenagem pluvial (NETO, 2010).

Os sistemas de drenagem, tal como elucidado por Oliveira (2012) são classificados de acordo com suas dimensões, em sistemas de microdrenagem, também denominados de sistemas iniciais de drenagem, e de macrodrenagem. A microdrenagem inclui a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, fazendo ainda parte do sistema todos os componentes do projeto para que tal ocorra. A macrodrenagem inclui, além da microdrenagem, as galerias de grande porte ($D > 1,5m$) e os corpos receptores tais como canais e rios canalizados como visto abaixo.

O sistema de drenagem pode ser subdividido em dois subsistemas como

demonstrado na Tabela 1:

Tabela 1 – Divisão do sistema de drenagem

MICRODRENAGEM	MACRODRENAGEM
Estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para as galerias ou canais.	Dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de micro drenagem.
Constituída pelas redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas de lobo e meios-fios.	Constituída pelos principais talwegues, fundos de vales, cursos d'água, independente da execução de obras específicas e tampouco da localização de extensas áreas densas, por ser o escoadouro natural das águas pluviais.

Fonte: Gomes e Werneck, 2017.

Analisa-se nesse estudo somente a inundação, uma ocorrência característica da própria formação das cidades ou qualquer aglomeramento ou densidade. A dinâmica da inundação se dá quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupam áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros (DAVID, 2014).

2.2 Medidas estruturais

Segundo Gonçalves (2018), as medidas estruturais podem ser extensivas ou intensivas. Onde as medidas extensivas são aquelas que agem na bacia de drenagem, como a avaliação da cobertura do solo na modificação da relação chuva e deflúvio. A cobertura do solo, em um primeiro momento, serve como redutor de pico de enchente e para o controle de erosão na bacia. Já as medidas intensivas requerem ações diretamente na calha dos rios e podem ser de três tipos:

- a) Aumentam os escoamentos, com o aumento da capacidade de descarga dos rios;
- b) Retardam o escoamento, com a construção de reservatórios e bacias de amortecimento; e
- c) desvio do escoamento, com a sua descarga sendo efetuada por obras para outros rios.

As intervenções estruturais de prevenção de enchentes têm o caráter preventivo quando são observados os critérios e os princípios que norteiam a ocupação de áreas e a execução de obras de drenagem como parte da infraestrutura da ocupação. Em outros casos, decorrentes da ocupação desordenada de áreas por população de baixa renda, as ações assumem caráter corretivos, que podem necessitar de desapropriações de terras, de relocação de habitações e de execução de obras com restrições de dimensões ou mesmo de método construtivo (ENGECORPS, 2008, s.p).

Em síntese, as características de alguma das medidas estruturais podem ser vistas no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Medidas estruturais no sistema de drenagem

MEDIDA	AÇÃO	VANTAGEM	DESvantAGEM	APLICAÇÃO
Extensiva	Cobertura vegetal	Redução do pico de enchente	Não compatível para grandes áreas	Pequenas bacias
	Controle de erosão	Redução do assoreamento	Não compatível para grandes áreas	Pequenas bacias
Intensiva	Construção de diques e polders	Boa proteção de uma área	Danos significativos quando falha	Grandes rios
	Melhoria do canal	Aumento da vazão	Efeito localizado	Pequenos rios
	Reservatórios de detenção	Controle de vazão para jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
	Reservatório com comporta	Mais eficiente	Vulnerável a problemas	Projeto de uso múltiplo
	Modificação do rio	Aumento da vazão	Depende da topografia e tem custo elevado	Grandes bacias

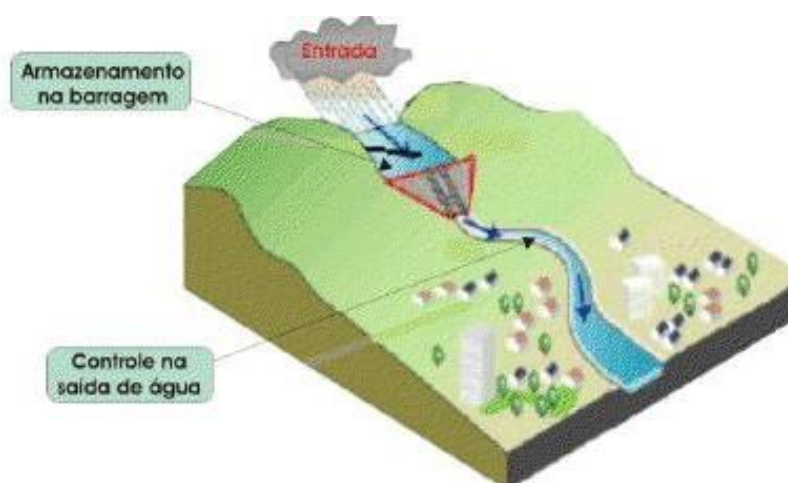
Fonte: Gomes e Werneck, 2017.

Dessa maneira, são expostos a seguir alguns exemplos de estruturas que tem como finalidade a redução dos riscos de inundação:

2.2.1 Reservatório e bacias de amortecimento

De acordo com o que esclarece Barbosa (2006), trata-se de construções que tem dois propósitos principais, o de amortecer o pico de cheias para um evento chuvoso intenso, garantindo o controle para jusante das áreas vulneráveis e também de armazenar água para abastecimento, irrigação e outros fins. A Figura 1 abaixo traz uma representação dessa construção estrutural:

Figura 1 – Representação da bacia de amortecimento



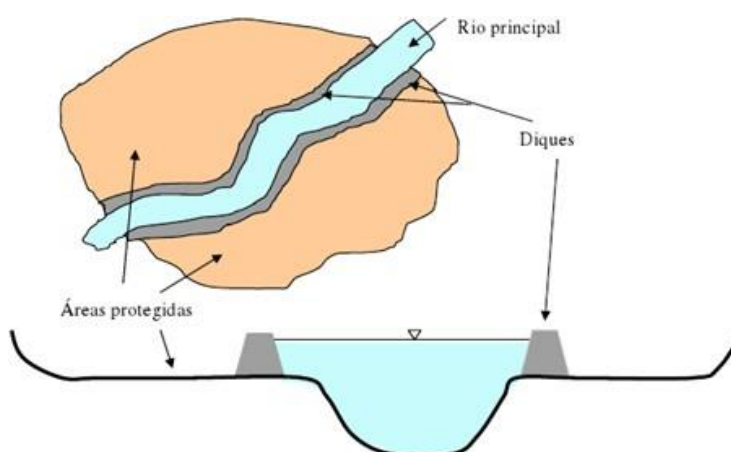
Fonte: Barbosa, 2006.

Em relação à área de amortecimento, esta refere-se a um pequeno reservatório que responde pelo armazenamento do excesso de vazão pluvial de modo a dissipar a energia das águas advindas das descidas d'água, de maneira a evitar a consequente erosão do terreno (BARBOSA, 2006).

2.2.2 Diques

São barramentos ou muros laterais de terra ou de concreto, inclinados ou retos, construídos ao longo das margens do rio, de altura tal que contenham as vazões no canal principal a um valor limite estabelecido em projeto. Tal construção assegura o controle completo das cheias que tenham o seu pico inferior ao limite estabelecido, mas nenhuma proteção para as vazões que ultrapassam tal limite, que passarão sobre tais muros. A Figura 2 demonstra essa medida estrutural:

Figura 2 – Diques.



Fonte: Cordeiro *et. al*, 2000.

Considerando outros elementos, Kipper (2015, p.42) ensina que se tem ainda:

- Canaleta: estrutura utilizada para conduzir o escoamento das águas pluviais, com sedimentos para os poço de decantação, reduzindo o processo de a erosão do solo;
- Bueiros: são estruturas instaladas no fundo de talwegues ou em locais de deságue de sistemas de drenagem, ou transversalmente sob o leito de estradas e ferrovias, destinados a conduzir as águas de pluviosidade, córregos, açudes ou bacias por elas cortados;
- Descidas D'água: constituem-se em dispositivos de drenagem construídos, de forma a promover o escoamento das águas, provenientes de áreas ou talwegues interceptados pela terraplanagem, de maneira que elas vertam sobre 6 os taludes de corte ou aterros, de forma favorável e ordenada, sem provocar erosões, até o ponto de deságue;
- Corta Rios: são canais de desvio abertos utilizados para desviar pequenos cursos d'água com potencial de interferir na diretriz de uma estrada ou rodovia;
- Poços de detenção e retenção: são dispositivos utilizados para armazenar águas pluviais por um período tempo, reduzindo os problemas de enchentes durante as chuvas e não apresentam a função de reter resíduos sólidos e sedimentos presentes na bacia, sendo o acumulo desses, um problema em chuvas intensas.

Segundo Tucci (2013), no sistema de drenagem, especialmente no contexto das plantas de exploração mineral, um dos elementos mais observados refere-se ao talude, que é a superfície inclinada de origem natural, que resulta de ação geológica e das intempéries (chuva, vento, entre outros) e também de ações artificiais, ou seja, das interferências do homem no meio. O autor diferencia o talude de corte, ocorrendo mediante retirada de material e talude de aterro, que acontece por deposição, terraplanagem ou bota-fora.

Sobre as “bacias de decantação” e “bacias de sedimentação” tem-se

que:

- Bacia de sedimentação: É o local onde a água fica em repouso por algum tempo para que ocorra a sedimentação dos sólidos em suspensão somente por processo gravimétrico;
- Bacia de decantação: É aquela onde se dá a decantação dos sólidos em suspensão por injeção de reagentes coagulantes ou floculantes (KIPPER, 2015, p.44).

Teixeira Júnior (2015) resume que a prática mecânica do terraceamento, frequentemente em uso em plantios e pastagens, é também comum nos sistemas circundantes a área de mineração. O autor cita que é parte complementar e determinante do sistema de drenagem, em razão do fator referir-se ao parcelamento da declividade, produzindo a redução da velocidade das águas pluviais na superfície, propiciando a absorção da chuva pelo solo, ou a drenagem lenta e segura do excesso de água.

Ou seja, compreende-se como uma prática conservacionista, de cunho mecânico, constituído pela associação de um “canal (valeta) com um camalhão (monte de terra ou dique) no sentido transversal ao declive do terreno, em intervalos dimensionados”, em que a dinâmica plena se relaciona, especialmente, com a declividade em que é planejado e executado, apresentando conservação de custo, significativamente alta.

2.3 Sistema de drenagem para plantas de exploração de minério de ferro

A trajetória de evolução da mineração brasileira é resultado da crescente demanda mundial por minérios e, também, pelo avanço e redução do custo da tecnologia dos equipamentos. Considerando que estes aspectos tem viabilizado a execução de expressivos projetos mineiros, que sua vez alcançam, de maneira significativa, elementos não observados antes, como as relações estéril-minériomais prejudiciais.

Tucci (2013) cita que os referidos componentes refletem em montantes de capital a serem investidos até o momento em que se alcança o minério de interesse, permitindo a análise do retorno deste investimento. Nesse sentido é que Kipper (2015) considera a demanda por estudo de planejamento da lavra buscando a otimização da relação entre a economia global do projeto ou

empreendimento e os riscos que estão associados às suas decisões de projeto. Dentre várias análises que precisam ser feitas, tem-se o sistema de drenagem específico a ser adotado para as plantas de exploração mineral, como considera Marques (2019) e, sendo este, o foco deste estudo. É preciso contar com projetos cada vez mais detalhados, considerando todos os fatores geológicos e geotécnicos de estabilidade de segurança e, também, de economicidade do futuro empreendimento.

Neste contexto é que Sampaio (2011) destaca os estudos de drenagem assumindo uma função determinante, não apenas nos aspectos subsidiadores das decisões a serem tomadas sobre a planta de exploração e beneficiamento, mas, também com relação a estabilidade dos taludes. E, por consequência, no planejamento global da mobilização das águas envolvidas em sítio em que dar a instalação da planta em questão.

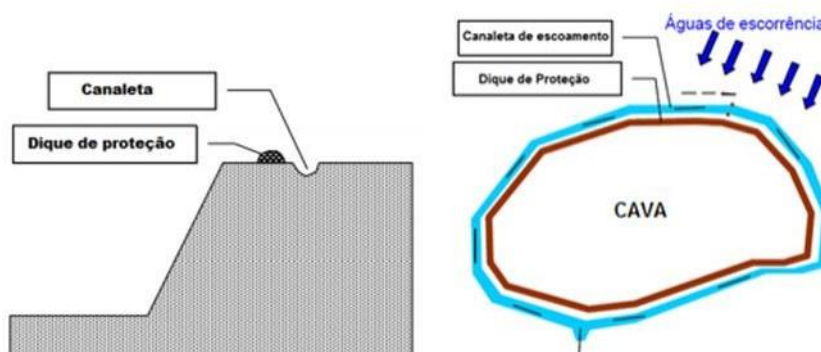
A problemática da água superficial advinda da precipitação ou de outras fontes envolve a coleta e direcionamento para canais de escoamento ao redor da estrutura. Contempla ainda, a condução por drenagem interna. De acordo com os aspectos do local em que se encontra instalada o sistema de drenagem (ARAÚJO, SCHUSTER; LIMA, 2011).

O sistema de drenagem superficial precisa abarcar a execução de canais periféricos buscando a interceptação das águas pluviais vindas dos arredores externos da pilha e o redirecionamento dessas até o sistema extravasador final. Nas palavras de Gonçalves (2018, p.44), lê-se que “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”.

Nos chamados sistemas de isolamento e escoamento, Teixeira Júnior (2015) menciona tratar-se do que é comumente escolhido para impedir o fluxo de água para dentro da cava, são formadas para valas e diques ao seu redor. O referido fluxo então tem redirecionamento para o fundo da cava (bottom pit) mediante de canaletas construídas nos pés das bancadas ou por tubulações.

Na citada etapa é essencial evitar que a água escoe pela crista da bancada, e assim, se evita o processo de erosão excessiva, também conservando suas características geotécnicas. Na Figura 3 tem a representação simplificada das estruturas mencionadas:

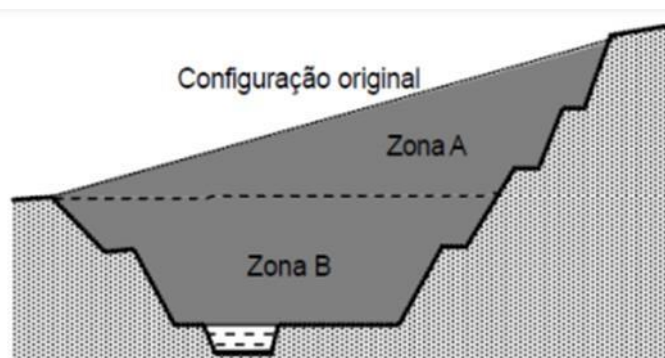
Figura 3 - Representação de perfil e planta dos componentes de isolamento e canalização de águas pluviais circunda à bancada



Fonte: ARAÚJO, SCHUSTER; LIMA, 2011.

Sobre o Sistema de remoção, Loura (2011) explica referir-se aos mais importantes dispositivos de remoção da água da cava mediante bombeamento e descarga gravítica. Nos casos de topografia favorável, a escolha é pelo uso de descarga gravítica para remoção de água, uma vez que o bombeamento resulta em maiores custos. Entretanto, na maior parte dos casos, se tem a necessidade de uso de bombas. A Figura 4 apresenta o desenho de uma cava em que se aproveita os dois métodos de remoção de água:

Figura 4 - Cava com dois métodos de remoção de água



Fonte: ARAÚJO, SCHUSTER; LIMA, 2011.

De acordo com Franco (2004); Loura (2011); Gonçalves (2018) e Silveira (2018), os estudos relacionados as obras de drenagem no contexto das mineradoras deve considerar os seguintes aspectos:

a) Estabilidade de taludes

Reconhece-se a água subterrânea se apresentado como um dos mais importantes agentes relacionados aos mecanismos de estabilização das paredes de escavações a céu aberto, mediante a execução de pressões neutras, internamente aos maciços rochosos. Sendo assim, a drenagem destes elementos realiza um papel determinante na utilização dos próximos projetos para abertura e na orientação resoluções de estabilização de taludes abertos (FRANCO, 2004).

b) Abastecimento do complexo mineiro industrial

Trata-se do adequado equacionamento da movimentação das águas superficiais que precisam considerar a necessidade de aproveitamento das bacias e cursos naturais de drenagem, para localização de reservatórios de abastecimento, por exemplo. O referido equacionamento precisa abarcar também, a escolha de sítios para deposição dos rejeitos de minas de maneira que os mesmos não tenham interferência no escoamento natural das águas ou mesmo, em áreas de acúmulo para para abastecimento (LOURA, 2011).

c) Controle da poluição dos mananciais e cursos d'água

No que se refere aos rejeitos de mineração, seja da própria mina ou do beneficiamento industrial do minério, esses podem ser consideravelmente poluentes, o que demanda que o projeto de drenagem proceda como a diferenciação das águas contaminadas, estas por sua vez, demandam um tratamento especial das águas não contaminadas que podem ser lançadas nos canais naturais de modo direto (GONÇALVES, 2018).

2.4 Esgotamento de cava céu aberto e de cavidades subterrâneas

Em relação às operações de lavra, essas podem ser impactadas ou mesmo interrompidas, em caráter temporário, em razão da inundação das escavações e pela ausência de um sistema de drenagem eficiente. O sistema

de drenagem de esgotamento de cavas a céu aberto, demonstra a possibilidade metodológica para conduzir estudos de drenagem como fundamento ao projetomineiro, além de ter conhecimento sobre os aspectos relacionados a influência da água em relação a estabilidade dos taludes de escavação (SILVEIRA, 2014).

2.4.1 Fatores relacionados a drenagem em Lavras a céu aberto

Inicialmente, Teixeira Júnior (2015) considera que é necessário estudar a posição geográfica em que está localizada a maior parte do território brasileiro, considerando os índices pluviométricos pertinentes. Além disso, o aspecto da quantidade de chuva que cai na superfície da terra oscila de uma região para outra, em razão principalmente das diferenças de temperatura, dada a ação dos ventos e, também, da influência dos relevos.

O referido especialista destaca que os fatores, em forma conjunta, acabam resultando numa configuração para o território brasileiro salvo os da região em da região Nordeste e de áreas consideradas isoladas na região Sudeste do país, cujos índices pluviométricos são sempre maiores do que 1000mm ao ano, podendo alcançar em determinadas regiões métricas superiores a 3000 mm por ano de chuva.

De acordo com Barros et al., (2012), se for considerado, que em razão do tipo de clima predominante nas regiões do Brasil, as estações chuvosas são bem demarcadas. Isto é, a maior parte do volume total da precipitação acontece em outros meses do ano, significando que o referido regime de chuvas pode desencadear em graves prejuízos aos projetos a céu aberto, caso não se tenha o adequado dimensionamento do sistema de drenagem no planejamento e no projeto mineiro.

Marques (2019) relaciona que o afogamento de uma escavação pode representar um total de paralisação das atividades de decapagem em lavra, refletindo na interrupção do processo produtivo, além de também trazer possíveis prejuízos imediatos relacionados as instalações as obras e equipamentos.

Na mesma linha de pensamento, Bastos (2000) esclarece que em qualquer atividade produtiva, é conhecido o auto-ônus, representado a paralisação da mesma que não desencadeiem perdas de matéria-prima no que

se refere a extração mineral. Esta interrupção, ainda que temporária, da lavra em geral, resulta em homens e máquinas inativos na mina além desse também trazer instabilidade de esgotamento dos estoques alimentadores das usinas de beneficiamento.

Sob outra ótica, Castro, Barros e Pereira (2009) relatam que a estabilidade dos taludes em relação à elevação do nível freático em razão do esgotamento, o referido problema pode se agravar por eventos de indução de forças de perlocação. De acordo com a velocidade do rebaixamento da lâmina da água no interior da cava.

2.4.2 Sobre o planejamento mineiro

Em relação aos empreendimentos mineiros, David (2014) explica que os mesmos ocorrem por etapas sucessivas de aquisição de informações de estudos envolvendo a análise de viabilidade, além de processos decisórios acerca da continuidade ou da suspensão das atividades, que inclui, desde a etapa de pesquisa mineral, até a lavra.

O referido processo interativo precisa ser alimentado ao longo do seu desenvolvimento por dados e informações que possam ser analisados em relação a geotecnia, a geologia, a química, a hidrologia, além da economia. Dentre outras vertentes da engenharia, Castro, Barros e Pereira (2009) assinalam que é preciso seguir no conhecimento e aprofundamento de cada ciclo sobre os corpos mineralizados, rochas encaixantes, além da composição e do comportamento do maciço envolvido, dentre outros aspectos.

O referido especialista menciona o aspecto da lucratividade do empreendimento depender do adequado condicionamento das variáveis envolvidas, de maneira que o planejador precisa estar ciente da necessidade de trabalho dos *inputs* provenientes de diversos campos de atividade.

A maior responsabilidade da coordenação dos trabalhos dos planejamentos das plantas mineiras, envolvendo profissionais devidamente capacitados e especializados em áreas distintas, mas, complementares, está também relacionada à definição de qual é o momento mais oportuno para iniciara exploração do minério d einteresse.

Teixeira Júnior (2015) menciona que a qualidade do projeto precisa ser

uma função direta do volume e de precisão das informações disponíveis. Acontece, porém, que as ações de investigação, em qualquer área, estão geralmente limitadas a cada fase, pelo montante de recursos alocados. Contempla-se a possibilidade do empreendimento, muitas vezes mostra-se inviável, o que poderia desencadear em uma perda total do investimento alocados nas pesquisas e investigações realizadas até então.

Na visão de Barros et al., (2012), a referida a possibilidade só pode ser excluída, ao fim da etapa de desenvolvimento, quando resta somente a lavra defato, para ser executada. Em razão do risco de não se poder alcançar a recuperação do investimento dos estudos e investigações iniciais, muitas vezes em decorrência de desinformação e preparo para esta fase.

Diversas atividades de ampla importância para o sucesso das minerações de grande porte não são consideradas ao longo de quase toda a vida das mineradoras, muitas vezes sendo vivenciadas apenas da ocorrência de acidentes de grandes proporções ou de eventos que colocam em dúvida, a economia global ou lucratividade do empreendimento.

No entendimento de Marques (2019), um exemplo clássico refere-se aos estudos de estabilidade de taludes e, também, de drenagem, muitas vezes porque ainda não é dada a devida atenção aos estudos de desenvolvimento de mineração, trazendo uma ideia equivocada de que o trabalho especializado nessas áreas, só encontra compensação diante de uma situação de calamidade, ou, no mínimo, de emergência.

Em relação aos mencionados estudos, David (2014) explica que eles podem concorrer de modo decisivo para o sucesso da mineração, desde as etapas de viabilidade de projeto, alcançando a etapa de lavra, diminuindo os custos de investimentos e operação, mediante a exposição dos critérios científicos para fundamentar a instrumentalização das decisões econômicas e de engenharia.

De acordo com Barros (2000) é responsabilidade dos estudos de drenagem e estabilidade de taludes em relação a programação da decapagem lavras a céu aberto. Se tem a interpretação dos picos de investimento em decapagem, podendo ser significativamente reduzidos, face a oscilação dos ângulos de talude ao longo do aprofundamento das escavações, com posterior utilização econômica a respeito do fator de remuneração do capital.

Deste modo, os estudos de drenagem, antes de apresentarem significado em custos adicionais, representam a possibilidade de definição com maior segurança da viabilidade do empreendimento. Baseia-se em projetos, seja no aspecto da estabilidade, seja em relação a prevenção de afogamento e racionalização das operações de lavra, sempre considerando o equilíbrio do binômio economia e segurança.

Os dificultadores relacionados ao afogamento parcial ou total das escavações mineiras a céu aberto, estão quase sempre, relacionados de modo exclusivo, aos custos de paralisação da produção. Isto, de modo que sempre será importante proceder com o comparativo desses custos, com implantação operação e manutenção dos sistemas de drenagem, para que se tenha um entendimento acerca da conveniência do investimento de drenagem.

2.5 Metodologia de projeto de drenagem

O procedimento relacionado ao projeto de drenagem, geralmente envolve as mesmas etapas e os mesmos estudos. A fim de melhor descrever cada um dos elementos que precisam ser observados e o que deve ser considerado, apresenta-se a síntese baseada nos estudos de Barros (2000); Franco (2004); Castro, Barros e Pereira (2009) e David (2014):

2.5.1 Topografia

De acordo com Franco (2004), os estudos topográficos precisam ser iniciados pela delimitação da região em que as águas precipitadas concorrem, de algum modo, para área da futura cava. Trata-se de uma delimitação da região mediante divisores de água, em que se tem a instalação da obra. O especialista destaca que são exigidas plantas topográficas em escalas adequadas 1:10.000 ou 1:25.000, ou contar com fotografias aéreas.

David (2014) esclarece que é necessário contar com a identificação dos percursos naturais de drenagem e as possíveis erosões que poderão servir como futuros canais receptores de águas movimentadas de outras áreas. Simultaneamente, é preciso identificar mediante as análises das plantas topográficas dos sítios mais propícios para instalação de reservatórios para o

abastecimento de água para diferentes fins, a contar o consumo humano industrial.

Os reservatórios para decantação de rejeitos da usina de beneficiamento do minério; a instalação de corpos de bota fora para o estéril, dentre outros, relaciona-se com a localização dos referidos elementos, não constituindo o projeto de drenagem, de fato, mas, estando relacionados a ele. Observam-se as características, tais como a disposição geral dos cursos naturais e artificiais da água, bem como o controle de poluição dos mananciais e a estabilidade de taludes de aterros de bota-fora, dentre outros.

2.5.2 Hidrologia

No que se refere à hidrologia, Castro, Barros e Pereira (2009) esclarecem que, desde o instante em que se dá início as pesquisas de ocorrências minerais, é preciso voltar-se às instalações de pluviômetros na área, dar início a um acompanhamento diário e sistemático das chuvas. É possível considerar a participação de instituições oficiais e de empresas da região para acompanhamento pluviométrico de um intervalo de tempo maior.

Com o levantamento da totalidade dos elementos que podem implicar no estudo do regime de chuvas ainda mediante as estações pluviométricas relativamente distantes para além dos registros para a área de interesse. Gonçalves (2018) cita que, em uma perspectiva futura, a totalidade dos dados precisa ser tratada de maneira estatística com médias diárias, mensais e anuais, dentre outras, para que se possa proceder com tomadas de decisão mais assertivas.

Em relação ao projeto de drenagem o estudo do regime de chuvas inclui necessariamente a sazonalidade climática apontando não apenas os meses de maior intensidade de chuvas do ano na região mas também indicando as metasdiárias e mensais da estação chuvosa além dos períodos de concentração de chuvas dentre outros os referidos elementos podem fundamentar os projetos de sistemas de recalque, indicando também, a programação da instalação e manutenção destes.

De acordo com Barros (2000), os estudos hidrológicos precisam incluir, ainda, os aspectos da bacia na localização da futura mina, dando ênfase aos

elementos tais como regime de escoamento superficial; porcentagens de infiltração; perdas por evapotranspiração e outros aspectos que alimentam o cálculo das vazões nas diversas zonas de drenagem a serem determinadas do projeto global. Além disso, também acabam por subsidiar pesquisas acerca da saturação dos maciços recarga do lençol freático e outros.

Em relação a água subterrânea, Franco (2004) descreve como sendo a investigação das águas, que objetivam a verificação da drenabilidade do maciço e a estimativa da contribuição desta pesquisa, para o volume a ser removido da cava. A recomendação, segundo o especialista, para que instalem medidores de nível de água ou piezômetros em furos de sondagem, e os mesmos precisam contar com a realização desses testes de rebaixamento em nível constante ou variável, além dos ensaios de bombeamento.

É possível, também, considerar que a partir de então, se tem a obtenção de informações relacionadas ao comportamento hidrotécnico do maciço, além da permeabilidade é a porosidade aparente, topografia, dentre outros. Isto é, Castro, Barros e Pereira (2009) explicam tratar-se de condicionantes da drenabilidade sendo de suma importância ao reconhecimento da posição do lençol freático e do seu comportamento diante no regime de chuvas.

É, também necessário considerar esses elementos com relação ao aprofundamento das escavações, quer para estimativa do volume de água de percolação que adentrar a cava, quer para a equacionalização do problema de estabilidade das paredes da escavação. Tratam-se de estudos que podem implicar na definição das zonas de recarga a serem drenados, além da soma de diferentes permeabilidades, pontos de ressurgência e, também, os canais preferenciais de percolação. Observa-se, ainda, a concorrência para estas definições os estudos geológicos geotécnicos em relação ao maciço.

2.5.3 Estudos de projeto

Sobre os estudos de projeto David (2014) detalha que os condicionantes de maior peso no processo decisório em relação a viabilidade da lavra se associam as pesquisas da forma da jazida da natureza do minério, da maneira que ocorrerá o beneficiamento dentre outros, dado que o investidor, geralmente, está preocupado com os teores e reservas recuperáveis do mineiro.

Em relação aos estudos de drenagem, Barros (2000) menciona que eles não estarão influenciando tais decisões, uma vez que não atingem de maneira direta, a relação minério estéril. As pesquisas fundamentam as análises de risco associados ao empreendimento. E, quando se traz os aspectos da geometria da futura cava, tem-se uma associação com os volumes recuperáveis de minério em que as ponderações relacionadas ao a movimentação das águas tem definição dada em termos de projeto.

Castro, Barros e Pereira (2009) explicam ainda, que os estudos de projetos mineiros, são realizados em etapas sucessivas de crescente detalhamento. Assim sendo, os estudos de drenagem de cava a céu aberto precisam ser também progressivamente pormenorizados, ao passo em que se tem novas informações no decorrer do desenvolvimento deste empreendimento.

Considerando os estudos de Barros (2000); Franco (2004); Castro, Barros e Pereira (2009) e Silveira (2014), é possível correlacionar que as informações básicas relacionadas aos projetos de drenagem podem ser classificados em dois segmentos a citar.

a) Limitações topográficas e layout das escavações:

Baseando-se em estudos topográficos citados anteriormente e no arranjo geral da mina, precisam ser definidas as zonas de contribuição que poderão ser realocadas para caminho de drenagem externos a escavação. Barros (2000) explica tratar-se de zonas em que a contribuição pode ingressar na escavação e zonas que precisam ser esgotadas por recalque. Esta última, conta com arranjo geral da mina, fornecendo as alturas de elevação correspondentes.

b) Volumes de água a serem mobilizados

Baseando-se nos estudos hidrológicos acerca do regime de chuvas, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração e, também, nos estudos geológicos, geotécnicos e hidrogeotécnicos acerca da permeabilidade, zonas de recarga, regime de percolação, drenabilidade, dentre outros. É preciso delimitar as contribuições da precipitação pluviométrica e da água subterrânea para cada

zona em questão (FRANCO, 2004).

c) Análise do custo-benefício

Em relação aos elementos apresentados à engenharia de drenagem, mostra-se apta a análise da relação custo-benefício do esgotamento, os custos precisam ter seus cálculos partindo dos componentes de investimento, operação e manutenção. Os dois primeiros, referem-se as funções das vazões de projeto e das alturas de elevação; o terceiro refere-se a função dos dois primeiros.

Baseando-se no que descreve David (2014), o benefício de respeito à segurança das operações de lavra, o que pode ser difícil de mensurar, de maneira direta. Uma análise da oscilação do fator de segurança ao afogamento, em razão dos custos totais do sistema de drenagem, pode ser uma estratégia útil para o dimensionamento econômico do mesmo.

O autor esclarece também, a recomendação que se tem para o dimensionamento ocorrer de maneira instrumentalizada, partindo de um comparativo entre o custo do sistema de drenagem e o custo de paralisação das obras de lavra por afogamento.

Silveira (2014) menciona o fundamento desta proposição, anteriormente mencionado, referindo-se a paralisação da produção, em geral, representando maior ônus que os acidentes de fato. A visão de Castro, Barros e Pereira (2009) sobre o método a ser utilizado, refere-se a determinação da vazão do projeto com correspondência ao menor custo total do sistema de drenagem, abarcando ainda, a implantação, operação e manutenção, incluindo, os recursos de paralisação da produção.

O referido autor afirma que se tem a possibilidade de dimensionar o sistema de maneira a capacitá-lo a manter seca a mina ao longo de 100% do tempo. Isto é, o afogamento é dado de modo a suprir a máxima precipitação para um período de recorrência igual a vida útil da mina, caso em que se tem elevados custos de implementação, operação e manutenção, sem qualquer custo de paralisação. É possível ignorar a possibilidade de afogamento e, para isso, não haverá custo do primeiro grupo, assumindo o risco, entretanto, eleva as perdas por paralisação da produção.

De acordo com Castro, Barros e Pereira (2009), os custos do primeiro

grupo referem-se aqueles ligados ao sistema de drenagem, de fato e, de acordo com o que já foi definido anteriormente, estes dependem, somente, das vazões do projeto que são funções da precipitação pluviométrica, uma vez que, para uma determinada mina, se tem as alturas de elevação, comprimentos de tubulação e canais de drenagem específicos.

Caso seja calculada a probabilidade do volume de água a ser removido superar a capacidade de esgotamento do sistema, Barros (2000) considera que é possível também calcular o custo total do sistema fazendo uso da equação a seguir:

$$C_t = C_I + C_o + C_M + P \cdot C_P \cdot 365$$

onde:

C_t = custo total do sistema;

C_I = custo de implantação;

C^o = custo de operação; C_M

= custo de manutenção;

P = probabilidade de paralização;

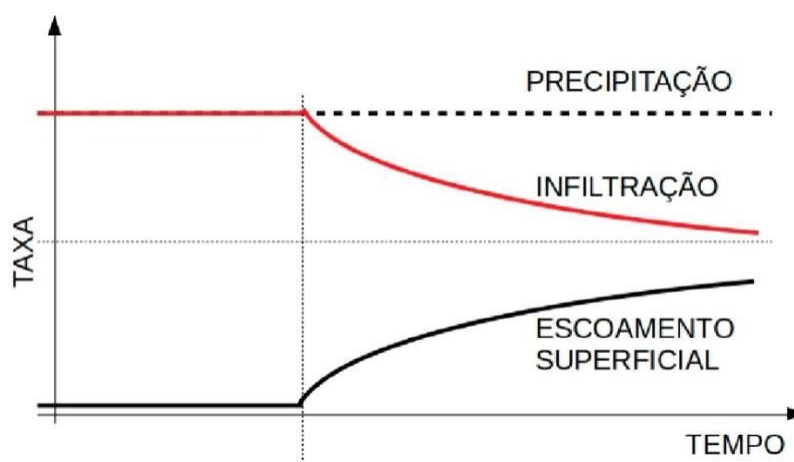
C_P = custo diário de paralização.

Os custos de implantação operação e manutenção, de acordo com Silveira (2014), tem o cálculo em razão de uma precipitação de projeto em específico. Os estudos acerca do regime de chuvas podem fornecer a probabilidade de que a referida precipitação de projeto seja superada do decorrer de 365 dias do ano. Ademais, o curso de trabalho da mina, a taxa de produção, dentre outros aspectos, podem ser fornecidos pela própria direção da mina, dado que esses elementos são, em geral, definidos anteriormente ao surgimento da necessidade de um projeto executivo de drenagem.

Assim sendo, calculados os custos totais, considerando apenas por paralização, para diversas precipitações de projeto, é preciso a obtenção de uma curva que apresente um ponto de valor mínimo do custo total, referindo-se aos custos do primeiro grupo, aumentando a probabilidade de paralização e reduzindo com o crescimento da precipitação de projeto (GONÇALVES, 2018)

A Figura 5 mostra a relação entre a variação dos custos do sistema de drenagem em função da precipitação do projeto adotada:

Figura 5 - Variação dos custos do sistema de drenagem em função precipitação do projeto adotada



Fonte: Gonçalves, 2018.

Em relação ao procedimento mencionado, este pode ser aperfeiçoado, mediante o uso da porcentagem do ano em que a mina estará paralisada por afogamento, sendo substituída a probabilidade de superação da precipitação de projeto.

De acordo com Franco (2004), em relação ao regime de chuvas, pode ocorrer aquela porcentagem mediante o exame dos volumes de água que se acumularam na cava no decorrer de eventos consecutivos de chuvas para levantamento da capacidade de esgotamento do sistema definido.

Silveira (2014) explica que o referido exame pode ser realizado baseando-se em registros pluviométricos diários existentes, acumulações semanais ou mensais. Ao longo das estações chuvosas é possível aprimorar o estudo realizando o cálculo da elevação da lâmina d'água no fundo das casas, em razão de suas áreas em cada etapa das escavações.

2.6 Dimensionamento do sistema de drenagem

Gonçalves (2018) ensina que o dimensionamento dos canais das tubulações e obras específicas do sistema de drenagem da mina precisa ser realizado mediante as vazões de projeto e calculado através de cada zonas de drenagem. Esta considera a precipitação de projeto obtida na análise apresentada no item anterior, a contribuição da água subterrânea.

Este último aspecto é destacado por Castro, Barros e Pereira (2009) como aquele que sofre, maior ou menor influência, da precipitação de projeto adotado, de acordo com o que se está trabalhando, para além ou aquém, do nível freático confinado.

Segundo David (2014), a estimativa do volume de contribuição da água subterrânea precisa considerar o referido fator além dos estudos hidrogeotécnicos acerca do maciço da mina. Em relação aos gradientes dos canais de drenagem Barros (2000) explica que os mesmos são definidos em razão dos materiais escavados para implantação aumentando em função da erodibilidade de cada um. O autor menciona também que, de acordo com os constrangimentos ou limitações topográficas e, também, do arranjo geral da cava.

Pode ser recomendado a realização de obras de dissipação da energia para romper os desníveis maiores e, assim, manter os gradientes adequados prevenindo a erosão. Em determinados casos, é possível seguir na recomendação do revestimento de canais, o que permitiria a elevação do gradiente.

O dimensionamento de bombas, tubulações e outros componentes de sistemas de recalque, devem ter a sua realização baseada nas vazões de projeto, nas alturas de elevação, comprimento de tubulações dentre outros. A recomendação é para o cuidado com abrasividade das águas em movimento nos referidos sistemas, já que, em geral, são portadoras de partículas sólidas em suspensão advindas da poeira produzida pela operação de lavra.

A referida condição poderá limitar a velocidade do fluxo internamente às bombas e tubulações, de modo a obrigar a redução da vazão ou utilizar o equipamento adequado a este elemento. O autor frisa que as águas que entram em contato com os minérios podem ainda ser consideravelmente corrosiva, obrigando a proteção de bombas e tubulações sob pena de crescerem significativamente os custos de reposição de equipamentos.

A disposição de canais, tubulações e bombas dependem do arranjo do *layout* geral da cava nas mais diversas etapas da escavação e tem seguido uma definição concomitante com a das zonas de drenagem a recomendação também é para que os pisos dos patamares contem com caimento em direção aos canais ou reservatórios de acumulação para recalque.

Em termos gerais, pode-se dizer que a drenagem superficial refere-se ao escoamento das águas superficiais, resultantes, em especial, de precipitações, mediante estruturas e instalações naturais ou artificiais, que

contam com o propósito de promover e simplificar o escoamento das águas, de maneira a manter, o que for possível, o percurso natural. Não se pode esquecer que a função do sistema de drenagem no contexto da mineração compreende evitar danos internos, isolamento da exploração e remoção da água do interior da mina, em seus três sistemas de maior importância, como foi destacado no escoamento e acumulação, isolamento e remoção.

Em relação à implantação de um sistema de drenagem pluvial, é válido citar a essencialidade do levantamento das características da chuva, tais como quantidade, duração e intensidade e da paisagem, destando o comprimento da rampa, rugosidade do terreno, profundidade, permeabilidade e aspectos do solo. Pesa ainda, as práticas de manejo da atividade mineira, atividade aqui analisada, de modo que se alcance a segurança e eficiência no controle da erosão, uma vez que o rompimento de um terraço pode conduzir a um processo de destruição do que estiver abaixo deste, resultando em grandes prejuízos.

3 METODOLOGIA

Com relação à metodologia que foi adotada na condução do estudo aqui proposto, é importante ressaltar que se buscou responder à questão norteadora delimitada para este trabalho. Trata-se de uma pesquisa básica que segue na caracterização da pesquisa refere-se ao primeiro passo na realização do estudo, especialmente no que se refere à execução do trabalho quanto aos fins e aos meios. Posteriormente, foi definida a unidade de análise e de observação e, em seguida, procedeu-se com a descrição do funcionamento das redes de micro e macrodrenagem em plantas de exploração de minério como coleta de dados e, por fim, foi citada a estratégia de análise e tratamento das informações que serão definidos de forma a responder aos objetivos do estudo.

3.1 Pesquisa quanto aos fins

Quanto aos fins, o estudo pode ser classificado como pesquisa exploratória e descritiva, visto que a escolha se deu por estar alinhado à definição dada por Gil (2009), referindo-se às pesquisas que são adequadas à descrição teórica e expositiva dos assuntos a serem apresentados e por possibilitarem a consecução dos objetivos.

As pesquisas descritivas, de acordo com Bertucci (2008, p.50):

[...] têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. Elas têm como objetivo principal estabelecer relações entre as variáveis analisadas e levantar hipóteses ou possibilidades para explicar essas relações (não de forma mais definitiva, o que as transformaria em explicativas). Portanto, pesquisas que descrevem e analisam diversos fenômenos e comportamentos organizacionais (como, por exemplo, clima, atitude ou cultura organizacional), pesquisas de mercado e tantas outras constituem exemplos em que se pode utilizar o tipo descritivo para categorizar a pesquisa realizada.

Foi descrita por ser conduzido para melhor compreensão do problema existente em relação ao adequado projeto de drenagem pluvial para a mineração. É descritivo também por permitir observar, registrar, analisar e correlacionar fatos ou fenômenos variáveis sem manipulá-los, sem qualquer interferência dos pesquisadores.

A pesquisa foi exploratória por ter permitido investigar um problema que não está claramente definido como é o caso de saber os detalhes e as singularidades do projeto de drenagem pluvial para a Mina S 1.

3.2 Pesquisa quanto aos meios

Quanto aos meios, se trata de uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso considerando-se o local de trabalho de um dos integrantes. De início, é uma revisão bibliográfica por considerar a seleção do conhecimento científico prévio sobre um determinado tema para que se possam definir os objetivos de um projeto de pesquisa como assinala

Vergara (2007) esclarece que a revisão bibliográfica realizada neste projeto de pesquisa, considera uma estrutura de abordagens conceituais e técnicas, tal como realizado neste estudo, em relação aos projetos de drenagem pluvial para a mineração.

Bertucci (2008) esclarece que os estudos de caso são baseados em uma investigação aprofundada de um único indivíduo, grupo ou evento para explorar as causas dos princípios subjacentes. Ou seja, o método do estudo de caso envolve um conjunto de ferramentas de coleta de material empírico para responder com a máxima amplitude às questões de pesquisa. Um estudo de caso é uma análise descritiva e exploratória de uma pessoa, grupo ou evento como se presente fazer com projeto de drenagem pluvial da Mina S1.

3.3 Natureza da Pesquisa

Segundo Nascimento (2018, p.1) em relação à natureza, a pesquisa ser básica ou aplicada. E, em relação a proposta deste projeto, o estudo pretendido será de natureza aplicada uma vez que se volta “à geração de conhecimento para solução de problemas específicos, é dirigida à busca da verdade para determinada aplicação prática em situação particular”.

Ou seja, por meio de uma abordagem qualitativa, foram analisados os critérios de maior impacto de um projeto de drenagem pluvial no contexto de uma mina de extração de minério de ferro para melhor compreensão das variáveis a serem trabalhadas, as condições do local e a melhoria que pode ser alcançada no dimensionamento dos projetos de drenagem pluvial para este contexto.

3.4 Forma de coleta e análise de dados

A seleção dos métodos e técnicas empregadas em uma pesquisa está

diretamente relacionada com o problema a ser pesquisado, com o objetivo da pesquisa e com o interesse da organização pela pesquisa.

Na pesquisa deste projeto foram realizadas 6 visitas técnicas em março de 2021 como um dos procedimentos de pesquisa na coleta de dados, que permitem registros fotográficos, diários de visitas, observação não participante e entrevistas livres (conversas informais) como engenheiros responsáveis pelo projeto de drenagem pluvial, relacionadas às principais etapas para se executar um projeto de drenagem pluvial, com base no estudo de caso em uma mineradora. A abordagem da pesquisa recebeu tratamento qualitativo, pois se pretende examinar e refletir registros, dimensionamentos, imagens, dados e outras formas de informações, para se obter um maior conhecimento acerca do estudo de caso proposto - o projeto de drenagem da Mina chamada S-1 de modo a correlacionar os principais termos e conceitos relacionados ao Sistema de Drenagem Pluvial no contexto de usina.

O método utilizado para a análise dos dados obtidos foi a descrição e análise de conteúdo. Segundo Yin (2010), essa análise é um dos procedimentos utilizados em pesquisas também qualitativas, para tratar dados coletados objetivando a descrição do conteúdo dos dados compilados. Desse modo, permite inferir conhecimentos relativos ao estudo em questão, buscando melhor compreensão de uma dada realidade, além de extrair os aspectos mais relevantes dessas mensagens.

3.5 Universo e Amostra

Segundo Gil (2009) o universo consiste em todos os elementos de pesquisa que se qualificam para inclusão no estudo de pesquisa. A amostragem é parte integrante do desenho da pesquisa, pois este método deriva os dados quantitativos e os dados qualitativos que podem ser coletados como parte de um estudo de pesquisa.

O universo desta pesquisa foi a Mina S-1, objeto de análise do estudo de caso, de modo a investigar os cuidados a serem observados na execução de um projeto técnico de drenagem pluvial para uma planta de exploração de minério. A acessibilidade a este objeto de pesquisa se deu por tipicidade e de forma intencional.

Para a escolha dos sujeitos de pesquisa, foi adotado o critério de acessibilidade aos profissionais que participaram ou que trabalham diretamente no projeto de drenagem da usina pertencente à Mina S1.

3.6 Análise e Coletas dos Dados

A transformação dos dados em conhecimento se mostra como o grande desafio desta pesquisa. Os dados qualitativos servem de suporte para a busca destas informações. Ainda, nesta pesquisa buscando correlacionar e descrever os registros coletados, os dados e outras formas de informações.

Para Michel (2010), o tratamento dos dados exige do pesquisador analisar e interpretar as informações, conduzindo o estudo de maneira a estabelecer a correlação entre o objeto e as questões de pesquisa, além de manter uma atitude de abertura, considerando o surgimento de novas oportunidades e ideias. Essa é uma etapa em que se tem a possibilidade de analisar com cautela cada informação obtida e proceder com uma análise crítica das evidências encontradas diante dos objetivos e da problematização do estudo.

3.7 Limitações de Pesquisa

Com relação à limitação da pesquisa, esta relaciona-se à unidade de análise que será observada, isto é, os resultados alcançados só se referem à realidade da Usina da Mina S1, não podendo ser ampliada para outra indústria. Além disso, acredita-se que podem haver algumas limitações sobre informações que sejam complementares ao projeto de drenagem pluvial realizado em que não serão considerados todos os estudos realizados para a elaboração do referido projeto (estudos detalhados das análises do solo e hidrológicas, por exemplo).

Importante considerar a possibilidade de limitação de tempo para a coleta de todos os dados necessários à pesquisa, ensejando que somente os de maior importância para o objetivo proposto serão considerados e de acesso, dado que a

empresa poderá disponibilizar apenas os documentos e informações que estiverem sob o seu poder de guarda.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sistema de Drenagem Pluvial no contexto de usina

A Mina S III faz parte de um segundo projeto de cobre elaborado por umas das maiores mineradoras no Brasil. A referida Usina está situada em Marabá, sudeste paraense, e deu início a operação em novembro de 2012. O citado empreendimento, cuja capacidade nominal é de cerca de 100 mil toneladas anuais de cobre em concentrado. Com a expansão da operação, o Mina S II, a capacidade de produção do empreendimento foi duplicada para 200 mil toneladas por ano do produto.

O projeto S, em si, contempla a operação integrada de lavra a céu aberto, beneficiamento, transporte e embarque. O escoamento da produção é realizado por rodovia, da mina até terminal ferroviário da Mineradora em Parauapebas (PA), sendo transportada pela Estrada de Ferro Carajás até o terminal marítimo de Ponta da Madeira (MA).

No ano de 2013, a unidade respondeu por 65 mil toneladas de cobre contido em concentrado, no ano seguinte de 2014, respondendo pela produção de 40,8 mil toneladas do produto. O projeto S é representado na Figura 6:

Figura 6 – Visão de parte do Projeto S



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

No referido cenário destaca-se a S, é considerado maior projeto de cobre

de uma das maiores mineradoras em operação no Brasil. A empresa explora a mina S, em Marabá, no Pará, com reserva estimada em 1,2 bilhão de toneladas de minério de cobre. Trata-se do maior depósito de cobre do país e responde por 48% do cobre produzido pela citada mineradora no mundo, sendo essencial para a competitividade e fortalecimento do negócio.

O minério extraído em Marabá é exportado, em sua grande parte, para países europeus. Antes, o minério é submetido a um processo de britagem, em que seu tamanho reduzido, por rolos que o fragmentam e por demais etapas que desencadeiam um concentrado de cobre. O referido concentrado é transformado em placas e usado pela indústria.

Buscando pela manutenção da competitividade internacional e o aumento da capacidade de beneficiamento da unidade, foi aportado um investimento de 1,1 bilhão de dólares no projeto S III. Trata-se da segunda expansão da mina desde o começo de suas operações em 2012 e, dentre as obras que tem duração de três anos, contemplam-se as de drenagem pluvial na mina.

Vale destacar que, no primeiro semestre de 2022, a mineradora já colocará em funcionamento o projeto de produção de cobre, o S III, com perspectiva de operação de 12 milhões de toneladas do minério. A expansão, do tipo técnico "brownfield" diz respeito à estratégia de aumentar a capacidade de processamento do complexo. O Projeto S, quando foi construído, considerou duas plantas e o S III vai aumentar a produção em 12 milhões de toneladas de minério que poderão ser processadas. O que representa, além das 24 milhões de toneladas de cobre já são produzidas pelas duas primeiras plantas, a inserção de mais 12 milhões.

Além do cobre, também são produzidos minérios como ouro e prata, subprodutos do cobre. A Figura 7 mostra uma visão do Projeto da Minas S III, especificamente em relação à drenagem pluvial.

Figura 7 - Projeto Salobo III – Drenagem Pluvial



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

4.2 Redes de micro e macrodrenagem em plantas de exploração de minério

O empreendimento denominado Drenagem Pluvial S III implantou o sistema de drenagem pluvial na mina e rede para interceptação e afastamento local. Foram realizadas obras de drenagem, com galeria celular, rede tubular de concreto de 400mm a 100mm, rede tubular dispositivos de concreto de drenagem – coleta de água da chuva para desaguar no local certo – ponto de desague seguro (bacia de decantação) de rede de drenagem, beneficiando a dinâmica da Mina S III.

Porém, uma problemática comum em obras de drenagem também se fazia presente neste caso: conduzir as intervenções estruturantes de forma prevista em projeto e buscar um plano de ação para que conservasse as melhorias proporcionadas como citado por Tucci (2013).

O estudo permite compreender os aspectos principais da Mina S III sob a ótica da rede de macrodrenagem para captação de águas pluviais e dos problemas frequentes e graves de inundação. Não obstante, pode-se compreender a intensificação dos processos de erosão, o transporte e a deposição de sedimentos, bem como o lançamento de rejeitos nos canais promoveram uma aceleração significativa do processo de desgaste estrutural dos canais em concreto como reforça Teixeira Júnior (2015).

4.2.1 Estudos Hidrológicos

Não foram aceitos elementos estruturais que não estejam previstos em projeto e o responsável pelo projeto levou em consideração as soluções de drenagem - micro e macrodrenagem – existentes e ou planejadas na Mina S III. Os parâmetros para os cálculos hidrológicos e hidráulicos dos projetos de drenagem são adotados pela equipe responsável, salvo indicação diversa constante nesta diretriz ou indicação específica para o projeto por técnicos do Projeto da Mina S III.

Para o conhecimento do regime de chuvas na região, foram coletados dados da estação meteorológica de Carajás – N5 mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Estudo hidrológico da região de Marabá

	Intensidade de Precipitação (mm/h)				
	10	15	25	50	100
P(24h)	7,64	8,35	9,22	10,39	11,55
P(12h)	12,99	14,19	15,67	17,66	19,64
P(10h)	15,04	16,43	18,15	20,45	22,73
P(8h)	17,89	19,53	21,58	24,31	27,03
P(6h)	22,01	24,04	26,55	29,92	33,26
P(1h)	77,05	84,14	92,94	104,73	116,43
P(30 min)	114,03	124,53	137,55	155,00	172,31
P(25 min)	124,52	135,99	150,20	169,25	188,17
P(20 min)	138,55	151,31	167,12	188,32	209,36
P(15 min)	159,65	174,35	192,57	216,99	241,24
P(10 min)	184,73	201,74	222,83	251,09	279,15
P(5 min)	232,63	254,05	280,60	316,19	351,52

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

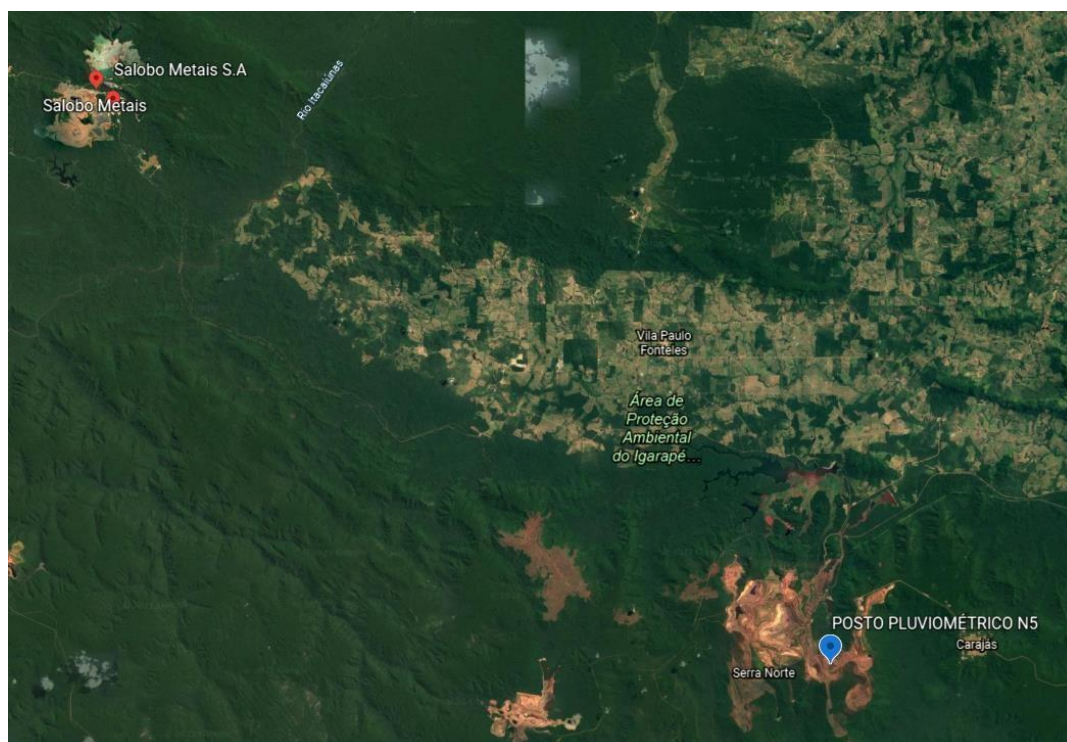
Para fins de elaboração dos projetos de microdrenagem, nos lançamentos em rede pública, seguiu-se na execução do levantamento topográfico da rede existente e apresentar estudos que comprovem que a rede existente comporta a vazão do lançamento do empreendimento. Em situações em que se tenha necessidade de incremento à rede existente, deve-se projetar a mesma até o ponto de compatibilização, ficando, em princípio, sob a responsabilidade do empreendedor a referida complementação, mesmo que sejam extrapolados os limites do empreendimento como sugere Kipper (2015)..

Assim, o estudo hidrológico foi apresentado em planta com delimitação das bacias e sub-bacias e planilhas de cálculo das vazões, indicando com nitidez as bacias de contribuição e todos os parâmetros de cálculo utilizados. As redes

de microdrenagem em que se adotou um período de recorrência de 10 anos. Nas canalizações (trocar) e redes de macrodrenagem deve-se adotar período de recorrência mínimo de 25 anos e o coeficiente volumétrico mínimo (C2) de 0,80 nas áreas de Minas.

Na Figura 8 pode-se ver a localização do posto pluviométrico N5 da MinaS III:

Figura 8- Posto pluviométrico N5 – Mina S III



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

O projeto das redes de drenagem são melhor apresentados nas seguintes etapas, juntamente com as memórias de cálculos sugeridos por David (2014).

- Planta geral de situação do projeto de drenagem com todas as redes projetadas.
- Pranchas com o projeto específico de cada rede em planta e perfil, indicando nos rodapés todos os parâmetros hidráulicos das redes conforme padrão Mina S III

O Estudo Hidrológico realizado objetivou a pesquisa dos elementos

disponíveis representativos da pluviometria local, além da definição dos parâmetros de cálculo das descargas máximas prováveis das bacias hidrográficas que contribuem em todas as vias deste complexo viário como também destaca Gonçalves (2018).

A vazão máxima de projeto definida a jusante da bacia de contribuição é de 15,211 m³/s. Para as características geométricas das bacias de contribuição, foram utilizadas plantas de restituição aerofotogramétrica na escala de 1 :2000 e um minucioso estudo local.

Em relação aos períodos de recorrência, tem-se: obras de drenagem superficial: 5 anos; redes coletoras: 10 anos e canalização de 25 anos.

4.2.2 Metodologia para dimensionamento

Na determinação vazão de projeto, esta foi definida a jusante da bacia de contribuição é de 15,211 m³/s. Para as características geométricas das bacias de contribuição, foram utilizadas plantas de restituição aerofotogramétrica na escala de 1 :2000 e um minucioso estudo local. Adotando o Método Racional - Bacias com área até 0,5km² foi considerado:

$$Q = (I \times A \times C) / 360$$

Onde:

Q= Vazão de pico, em m³/s;

i = Intensidade de precipitação mm/h;

A = Área de contribuição, em ha;

C = Coeficiente de deflúvio, tabelado;

360 = Constante de transformação para segundos.

O coeficiente de deflúvio quantifica o grau de absorção de água pela superfície onde ocorre a precipitação, representando quantos % do volume precipitado será escoado efetivamente como mostra o Quadro 2:

Quadro 2 – Valores para o coeficiente de deflúvio

COEFICIENTE DE DEFLÚVIO	C
TERRENO NATURAL	0,45
XISTO FINO	0,50
TALUDE GRAMADO	0,65
REVESTIMENTO PRIMÁRIO	0,70
PAVIMENTO FLEXÍVEL/RÍGIDO	0,90

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Importante destacar que nas fases iniciais do ciclo hidrológico, maior atenção foi dada a questão do escoamento superficial para a Mina SIII, dado que se refere a uma etapa que verificou a ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, sendo os estudos hidrológicos indicando as possibilidades de aproveitamento da água superficial e à proteção em relação aos fenômenos desencadeados pelo seu deslocamento como foi citado por Silveira (2014).

Assim sendo, como frisado por Castro, Barros e Pereira (2009) o coeficiente de escoamento superficial acima apresentado também chamado de coeficiente de deflúvio, ou ainda, coeficiente de “runoff”, foi dado pela razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Deste modo, o coeficiente se aplica a ocorrência de chuvas isolada ou a um intervalo de tempo em que diversas chuvas ocorreram.

Com a determinação do coeficiente de “runoff” para chuvas intensas, com sua duração, se tem a possibilidade de determinar o escoamento superficial de demais precipitações de intensidades distintas, desde que se tenha igual duração.

4.2.3 Dimensionamento Hidráulico

No dimensionamento da rede de drenagem da Mina S III, foram considerados os parâmetros hidrológicos, dentre eles o Tempo de Retorno (T) – período de tempo que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez como visto em Barros (2000). O dimensionamento das obras de Drenagem de S III foi efetuado para atendimento às vazões de projeto associadas aos períodos de retorno indicados no Quadro 3:

Quadro 3 – Valores para o TR

ESTRUTURA	TR (Anos)
Drenagem Superficial	10
Bueiro Simples	15
Bueiro Celular	25
Canal do Rejeito	25
Bacias de Decantação	25
Caixas de Retenção	25

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Já em relação ao Tempo de concentração, este considerou o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada, ou ainda é o tempo para que a gota de água que cai no ponto mais distante chegue até a seção que define o limite da bacia também citado por David (2014).

Para o dimensionamento da seção dos dispositivos superficiais, foram consideradas as seguintes premissas:

- $t_c = 5$ Minutos
- Tempo de concentração mínimo
- $T = 10$ Anos
- Tempo de Recorrência (dispositivos superficiais)

4.2.4 Dimensionamento Hidráulico – Metodologia

Na definição do dimensionamento hidráulico, foi considerada a Equação 1 para determinação do comprimento crítico:

Eq.1:

$$L_{cri} = \frac{0,36 \times 10^6 \times A \times V}{C \times I \times L}$$

Onde:

- L_{cri} = comprimento crítico (m);
- A = área da seção (m²);
- C = coeficiente de escoamento;

- I = intensidade de precipitação (mm/h);
- L = Largura de precipitação, em m;
- V= Velocidade de escoamento (m/s).

Foi considerada a fórmula de Manning é uma expressão do denominado coeficiente de Chézy C utilizado na fórmula de Chézy para o cálculo da velocidade da água em canais abertos e tubulações conforme Equação 2:

Eq. 2 :

$$Q = \frac{S}{n} R_H^{2/3} i^{1/2} R_H = \frac{A}{P}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

S = área molhada do conduto (m²); n = coeficiente de rugosidade;

RH = raio hidráulico do conduto (m); i = declividade do conduto (m/m); A= área molhada (m²);

P=Perímetro molhado (m).

A Equação 3 foi considerada para a obtenção da velocidade, V, das águas:

Eq. 3 :

$$V = \frac{R_H^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n}$$

Onde:

V = Velocidade de escoamento (m/s);

I = Declividade do condutor (m/m);

n = coeficiente de rugosidade;

RH = raio hidráulico (m).

Observa-se que no dimensionamento hidráulico da Mina SII foi admitida uma velocidade máxima de vazão de 5,0m/s.

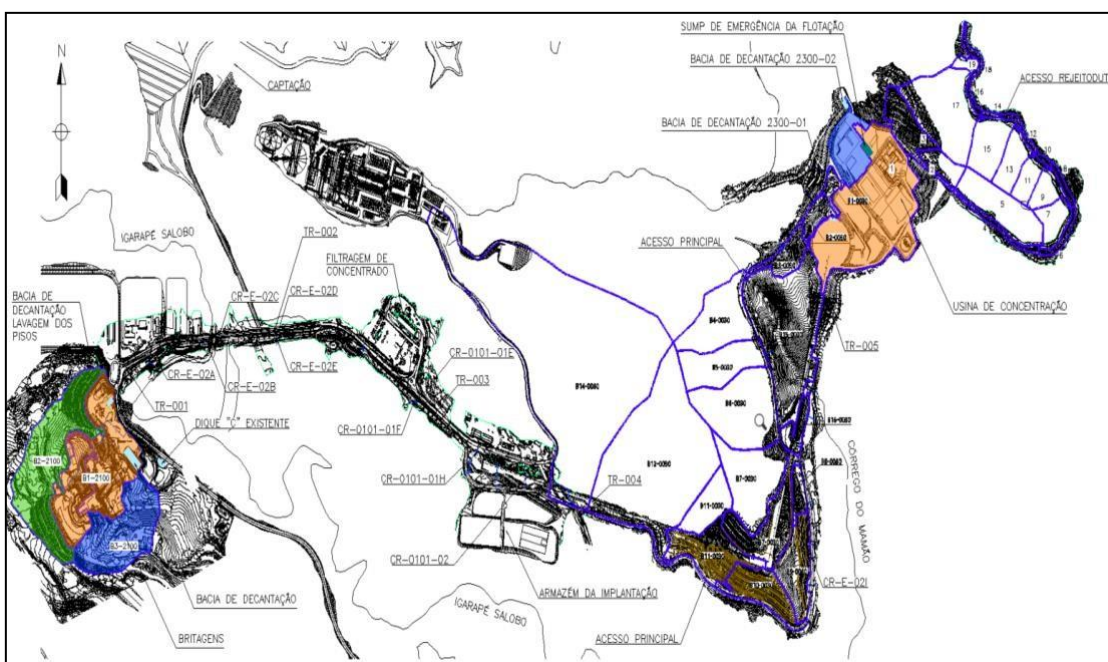
- a) Cuidados em uma obra de Drenagem Pluvial baseado no estudo de caso proposto

A rede de drenagem da Mina S III considerou todos os estudos realizados no local e o próprio arranjo da planta da mina com suas características geográficas, climáticas e topográficas. Basicamente os problemas que foram enfrentados com relação à proximidade do período chuvoso comprometendo o cronograma de obra.

Como se trabalhou basicamente toda a área da Mina S III, também foi realizado um trabalho junto aos trabalhadores e moradores do entorno que podem ser atingidos diretamente, pois foi empregado com equipamentos pesados, muitas pessoas transitaram pelo local e eles podem se sentir incomodados com a presença da equipe técnica.

A rede de esgotamento foi implantada nos dois lados da drenagem que também se tem a bacia de decantação de lavagem dos pisos próxima a área de operação de britagem e outra bacia de decantação situada próxima ao acesso principal da Mina S III, em que se tem a usina principal próxima ao Córrego do Mamão como mostra a Figura 9:

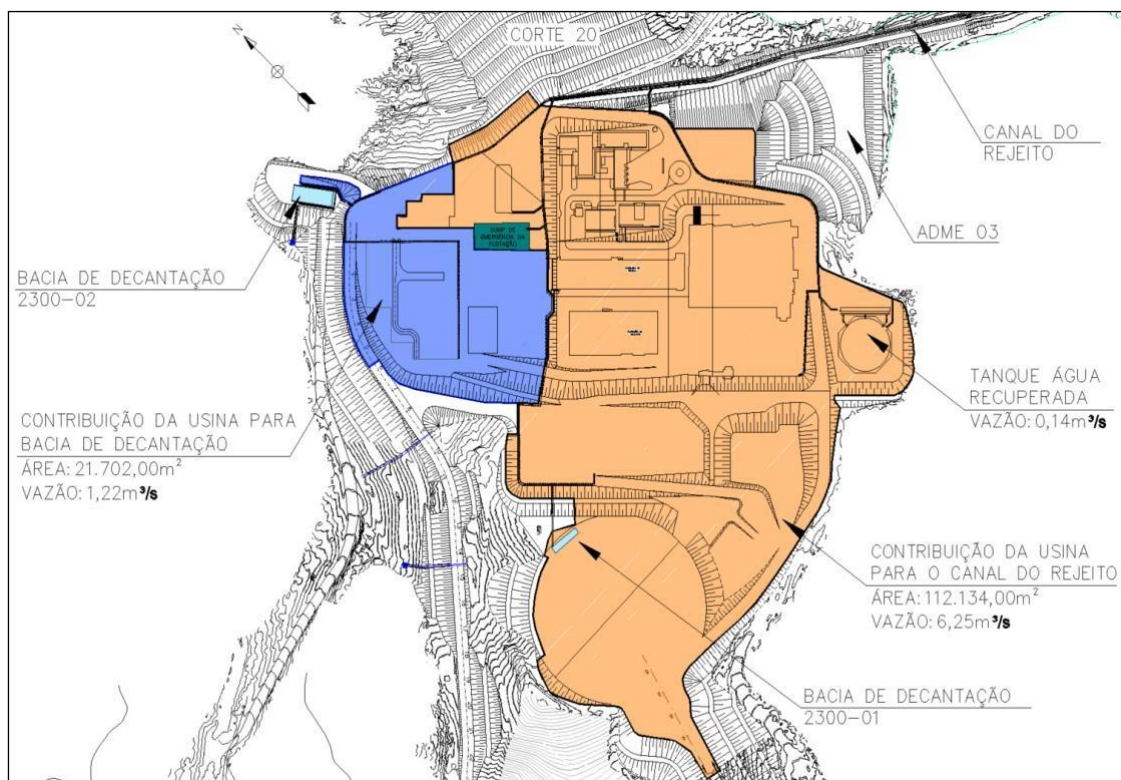
Figura 9 – Visão geral do projeto de drenagem da Mina SIII



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na Figura 10 se tem o destaque da área comum da usina de concentração:

Figura 10 – Visão dos elementos próximos a usina de concentração da Mina SIII

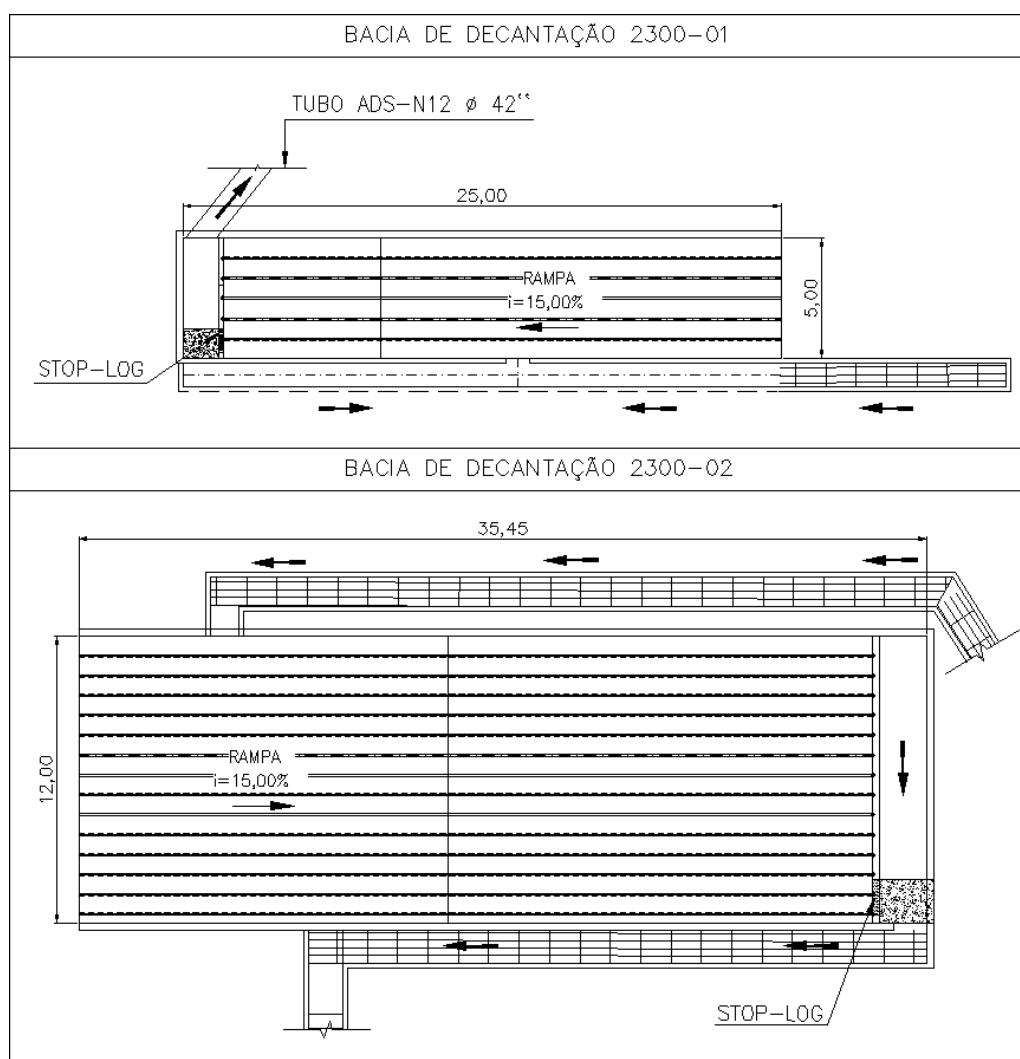


Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Observa-se a disposição da bacia de sedimentação, tanque de decantação ou tanque de decantação é uma estrutura de terra ou concreto que usa sedimentação para remover matéria sedimentável e turbidez das águas residuais. Os tanques de sedimentação podem ser ineficazes na redução da turbidez causada por pequenas partículas com gravidade específica baixa o suficiente para serem suspensas pelo movimento browniano.

A Figura 11 apresenta o layout de duas bacias de decantação da Mina S III em que as bacias eram utilizadas para armazenar os resíduos líquidos produzidos na lavagem dos minérios. Esse resíduo, uma mistura de água e sedimentos carregados de metais, é despejado nas bacias de decantação.

Figura 11 – Bacias de decantação

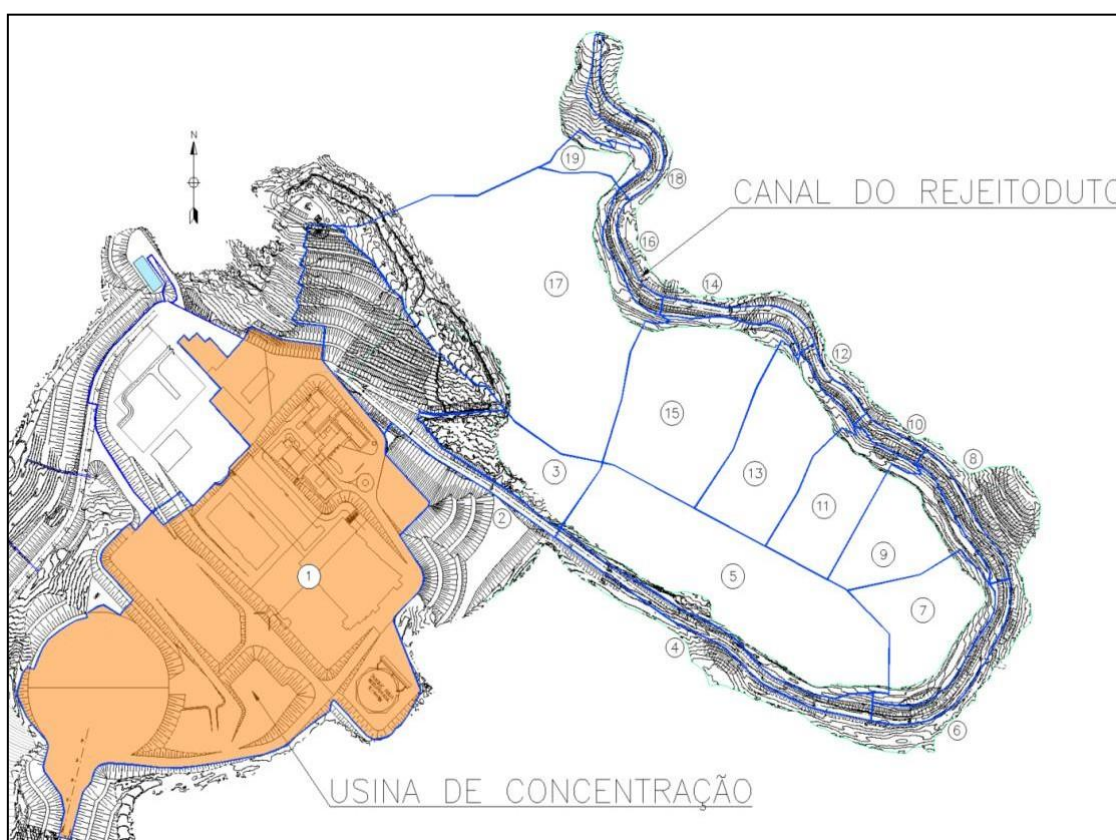


Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na definição da concepção do projeto procuraram-se soluções que minimizassem os impactos ambientais, as operações com rejeito/ canais de rejeito, os custos de implantação e, ao mesmo tempo, que fossem tecnicamente seguras. O lançamento do sistema de canalização será feito a céu aberto longe das dependências lindeiras ao canal do rejeito.

A velocidade mínima adotada foi de 3,00m/s; ademais, foi adotado seção mista para a seção do canal como mostra a Figura 12:

Figura 12 – Arranjo do canal de Rejeito



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

A seção do canal foi definida através do somatório da contribuição máxima industrial (constantes e eventuais) + pluvial e o canal trabalhando em toda sua extensão com lâmina de água correspondente a um máximo de 85% de sua altura. Para os trechos em curva foi considerado uma lâmina de água correspondente a um máximo de 90% de sua altura quando houver a superelevação.

Para o dimensionamento canal rejeito com as contribuições industriais

usina tem-se os dados apresentados no Quadro 4:

Quadro 4– Valores das contribuições industriais da usina

CONTRIBUIÇÕES INDUSTRIAIS DA USINA	Q (m³/s)
CONSTANTE REJEITO SALOBO III (0,53 A 1,46m³/s)	1,06
EVENTUAL TRANSBORDO TANQUE DE ÁGUA RECUPERADA	0,14
EVENTUAL TRANSBORDO DO SUMP DE EMERGENCIA	1,40
EVENTUAL TRANSBORDO PRÉDIO DA RECUPERAÇÃO DE REAGENTE	0,10
EVENTUAL TRANSBORDO ESTOCAGEM E PREPARAÇÃO DE CAL	0,10
EVENTUAL TRANSBORDO MOAGEM DE BOLAS	1,40
CONSTANTE CAIXA CX-0101SA-19	0,10
CONTRIBUIÇÃO TOTAL	4,70

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Observa-se que o projeto considerou o constante de rejeito; eventual transbordo de tanque de água recuperada e do sump de emergência; além de possível transbordo da recuperação de reagentes e estocagem de preparação de cal; moagem das bolas e constante de caixa, cuja contribuição total foi de 4,70 Q (m³/s).

O Quadro 5 apresenta dos valores para contribuições totais:

Quadro 5 – Contribuições industriais da usina – constantes e eventuais – Pluvial usina e pluvial canal

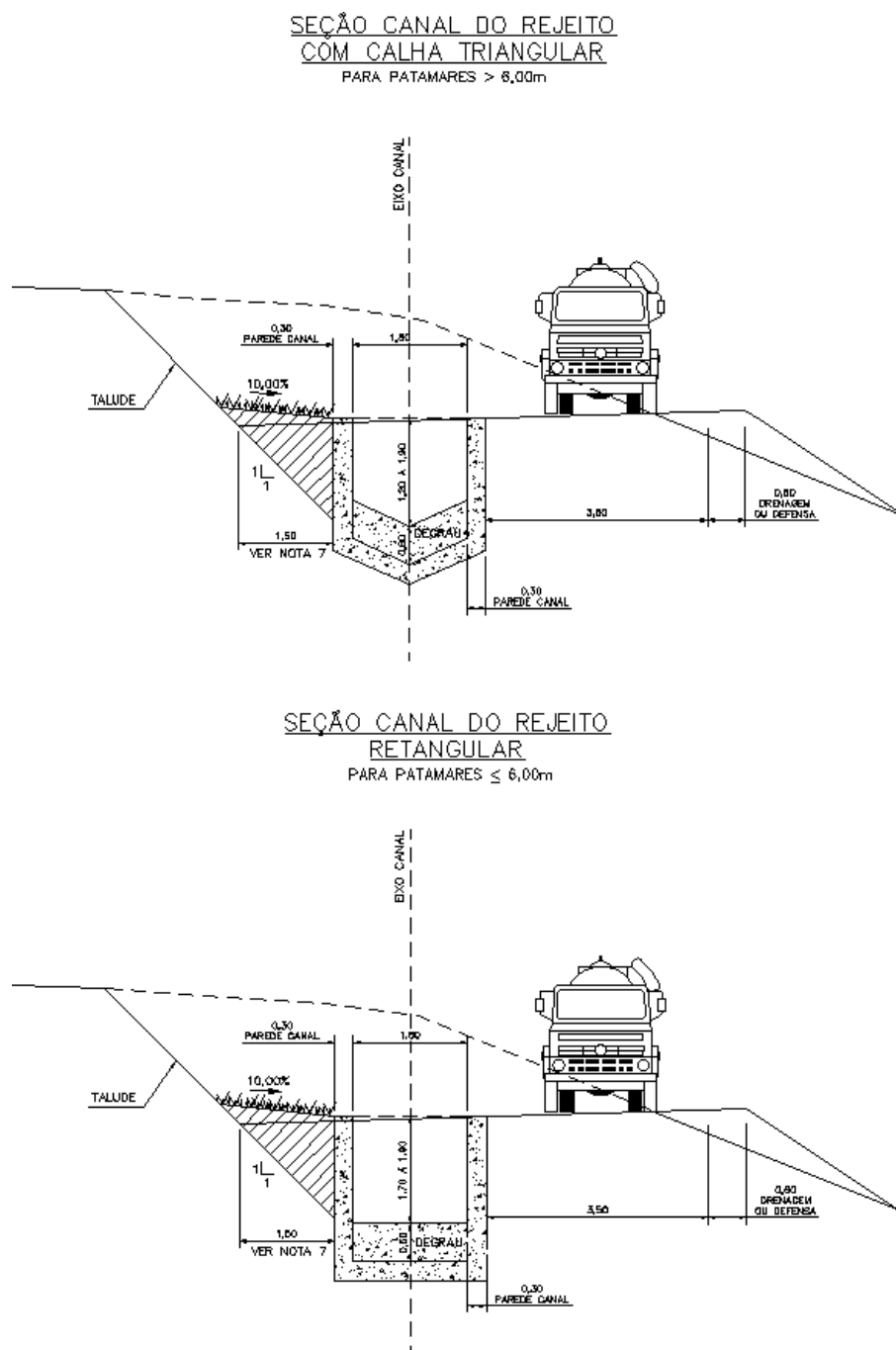
CANAL FUNCIONANDO NO CASO MAIS CRÍTICO (CONTRIBUIÇÕES INDUSTRIAIS DA USINA - CONSTANTES + EVENTUAIS) + PLUVIAL USINA + PLUVIAL CANAL																	
BACIAS	TRECHO	ESTACAS	Q (m³/s)	DISPOSITIVO									CAPACIDADE HIDRÁULICA				
				Declividade (%)	RETANGULAR				TRANGULAR			Rugos.	Área m. (m²)	Perim. m. (m)	Raio h. (m)	Q (m³/s)	U (m/s)
					Dimensões (m)				Dimensões (m)								
					Larg. (B)	Lâmina Adotado	Altura (h) %	Altura (h)	a	b	Altura (h)						
INDUSTRIAL+1+2	A	EST. 0+0,00 A 8+15,00	10,96	2,50	1,80	1,06	1,30	0,82	0,90	0,90	0,30	0,014	1,638	3,417	0,479	11,330	6,92
INDUSTRIAL+1+2	A	EST. 8+15,00 A 12+6,50	10,96	3,00	1,80	0,98	1,20	0,82	0,90	0,90	0,30	0,014	1,494	3,257	0,459	10,993	7,36
A+3+4	B	EST. 12+6,50 A 21+16,00	11,75	3,00	1,80	1,04	1,30	0,80	0,90	0,90	0,30	0,014	1,602	3,377	0,474	12,055	7,52
B+5+6	C	EST. 21+16,00 A 31+4,00	12,31	3,00	1,80	1,11	1,30	0,85	0,90	0,90	0,30	0,014	1,728	3,517	0,491	13,310	7,70
C+7+8	D	EST. 31+4,00 A 43+16,00	13,16	3,00	1,80	1,11	1,30	0,85	0,90	0,90	0,30	0,014	1,728	3,517	0,491	13,310	7,70
D+9+10	E	EST. 43+16,00 A 50+18,00	13,68	3,00	1,80	1,14	1,40	0,81	0,90	0,90	0,30	0,014	1,782	3,577	0,498	13,854	7,77
E+11+12	F	EST. 50+18,00 A 54+18,00	14,12	3,00	1,80	1,16	1,50	0,77	0,90	0,90	0,30	0,014	1,818	3,617	0,503	14,218	7,82
F+13+14	G	EST. 54+18,00 A 59+0,00	14,48	3,00	1,80	1,18	1,50	0,79	0,90	0,90	0,30	0,014	1,854	3,657	0,507	14,583	7,87
G+15+16	H	EST. 59+0,00 A 65+0,00	15,04	3,00	1,80	1,21	1,50	0,81	0,90	0,90	0,30	0,014	1,908	3,717	0,513	15,132	7,93
H+17+18	I	EST. 65+0,00 A 71+0,00	15,83	3,00	1,80	1,25	1,50	0,83	0,90	0,90	0,30	0,014	1,980	3,797	0,521	15,869	8,01
I+19+20	J	EST. 71+0,00 A 75+0,00	16,94	3,00	1,80	1,31	1,60	0,82	0,90	0,90	0,30	0,014	2,088	3,917	0,533	16,982	8,13
J+21+22	K	EST. 75+0,00 A 85+5,00	18,21	3,00	1,80	1,38	1,70	0,81	0,90	0,90	0,30	0,014	2,214	4,057	0,546	18,291	8,26

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Os rejeitos da minas SII são transportados como polpa, algumas vezes

em razão da gravidade mediante canais ou através de tubulações, com ou sem sistemas de bombeamento, conforme as elevações relativas entre a planta de beneficiamento e o local onde será descartado. A Figura 13 apresenta a seção do canal de rejeito da Mina SIII:

Figura 13 – Arranjo do canal de rejeito da Mina S III

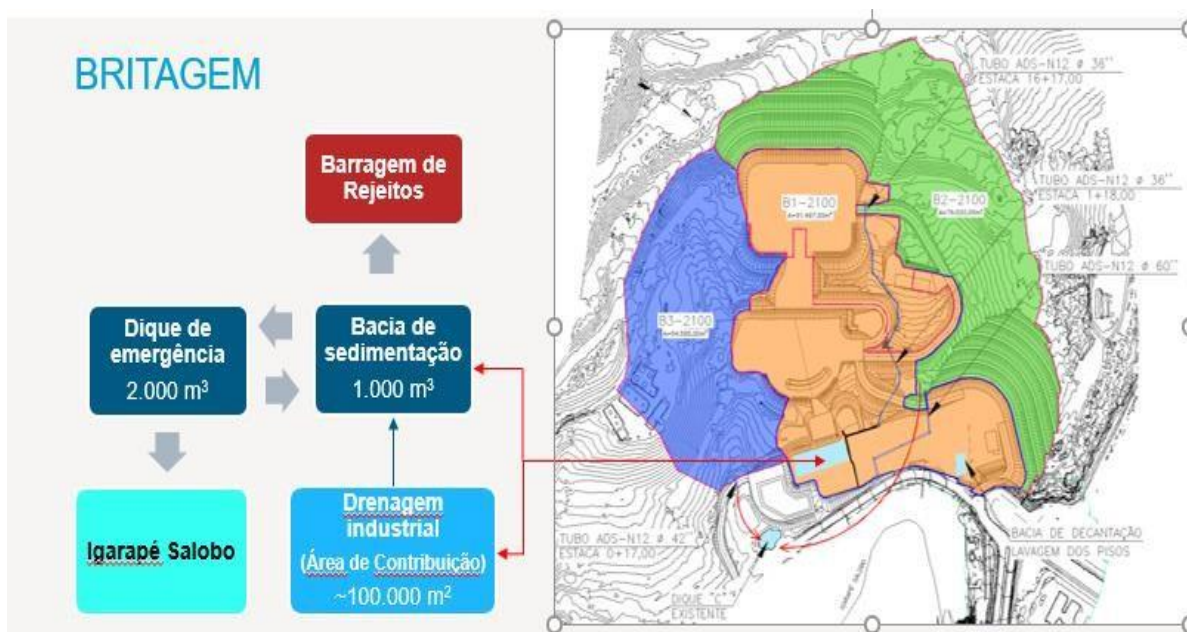


Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

O sistema de tubulação do canal de rejeito foi dimensionado baseando-se na velocidade mínima de fluxo demandada para evitar que as partículas no estado sólido do rejeito se sedimentem e obstruíssem a tubulação. A referida velocidade depende tanto da densidade da polpa, como do tamanho das partículas, oscilando em cerca de 1.5 a 3.0 m/s.

A operação de britagem mostrada na Figura 14, foi também considerada no sistema de drenagem da Mina S III:

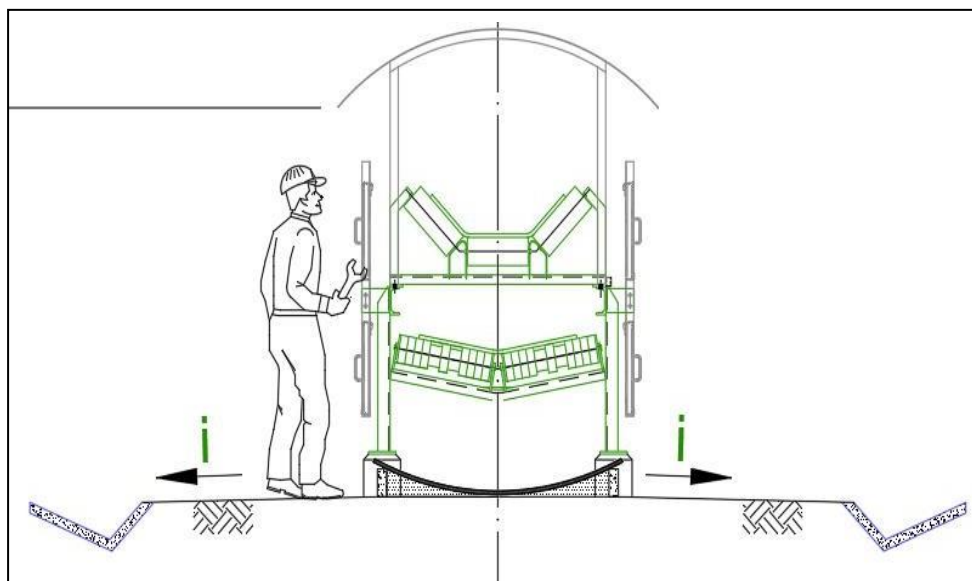
Figura 14 – Considerações sobre a operação de britagem 59



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

O projeto foi desenvolvido de forma se evitar ao máximo a entrada de efluente proveniente das chuvas na região das contenções por sob a correia. A drenagem pluvial foi totalmente segregada da drenagem contaminada. A Figura 15 representa a caixa de retenção de sedimentos adotada na Mina SIII.

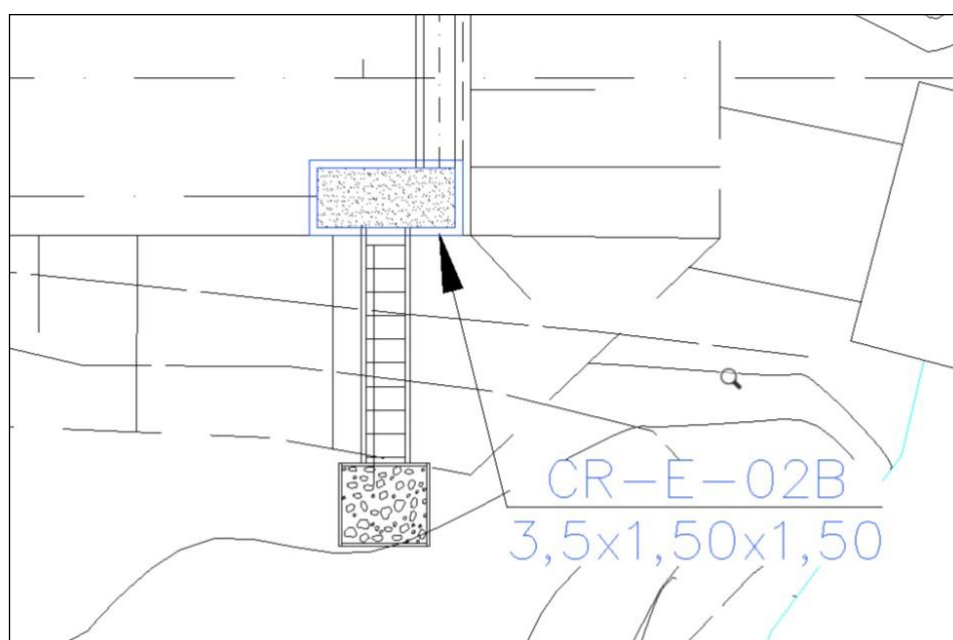
Figura 15 – Exemplo de caixa de retenção



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na Figura 16 se tem a visão da caixa de retenção CR – E- 02B escavada no solo, permitindo que a drenagem superficial entre e decante os sólidos arrastados.

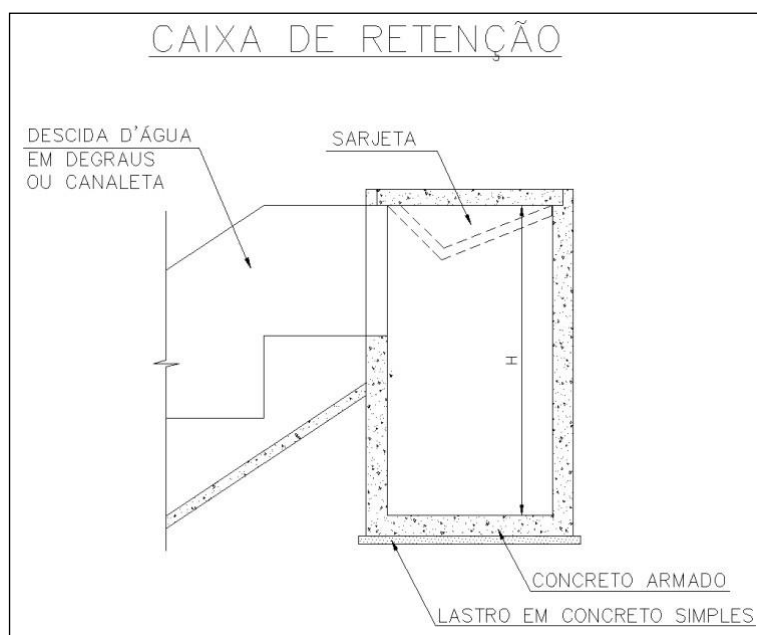
Figura 16 – Dimensão da caixa de retenção CR – E- 02B



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na Figura 17 se tem uma visão do escoamento da água dentro da caixa de retenção podendo ocorrer em degraus ou por canaleta:

Figura 17 – Descida da água no interior da caixa de retenção



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

No Quadro 6 se os dados para o projeto de um sistema de drenagem de água da chuva para coletar o escoamento de água e proteger as estruturas existentes, bem como para evitar danos às casas como consequência de chuvas extraordinariamente altas. Especificamente, o sistema de drenagem de águas pluviais foi considerado para captar e conduzir a água da chuva até o corpo receptor projetado para tal fim.

Quadro 6 – Elementos estruturantes do Projeto detalhado SIII

SALOBO - PROJETO DETALHADO																	
MÉTODO RACIONAL ÁREA <0,5km ²																	
Nº BACIA	ESTACA	ÁREA 1		ÁREA 2		L (m)	H (m)	i (m/m)	C1	C2	tc (cal.)		I (mm/h)		Q (m ³ /s)		SEÇÃO DO BUEIRO (m)
		km ²	(ha)	km ²	(ha)						(min)	15 anos	25 anos	15 anos	25 anos		
ACESSO PRINCIPAL - EA-SK-0030SA-B-00005-FL02/02 - PLANTA 01/06																	
B1-0030	9+5	0,005	0,51		0,00	135	24	0,178	0,70		1,660	254,05	280,8	0,25	0,28	TUBO ADS-N12 Ø30"	
B2-0030	14+10	0,008	0,84		0,00	115	25	0,217	0,70		1,358	254,05	280,8	0,42	0,46	TUBO ADS-N12 Ø36"	
B3-0030	23+19	0,014	1,39		0,00	79	19	0,241	0,45		0,978	254,05	280,8	0,44	0,49	TUBO ADS-N12 Ø36"	
ACESSO PRINCIPAL - 0030SA-B-52352_Rev_4 - PLANTA 02/06																	
B4-0030	36+15	0,040	3,98		0,00	300	110	0,367	0,45		2,323	254,05	280,8	1,27	1,40	TUBO ADS-N12 Ø42"	
B5-0030	43+0	0,032	3,24		0,00	365	120	0,329	0,45		2,817	254,05	280,8	1,03	1,14	TUBO ADS-N12 Ø36"	
B6-0030	52+1,72	0,059	5,88		0,00	358	138	0,385	0,45		2,611	254,05	280,8	1,87	2,05	BSCG 1,50X1,50	
ACESSO PRINCIPAL - 0030SA-B-52353_Rev_4 - PLANTA 03/06																	
B7-0030	61+5,00	0,046	4,61	0,036	3,60	1024	132	0,129	0,45	0,70	8,940	201,74	222,83	2,57	2,84	TUBO ADS-N12 Ø60"	
B8-0030	67+0,00	0,007	0,72		0,00	119	30	0,252	0,70		1,317	254,05	280,8	0,36	0,39	TUBO ADS-N12 Ø36"	
B9-0030	84+4,00	0,028	2,76		0,00	218	56	0,257	0,70		2,083	254,05	280,8	1,37	1,51	TUBO ADS-N12 Ø60"	
ACESSO PRINCIPAL - 0030SA-B-52354_Rev_4 - PLANTA 04/06																	
B10-0030	104+0,00	0,028	2,75		0,00	216	84	0,389	0,70		1,763	254,05	280,8	1,36	1,50	TUBO ADS-N12 Ø48"	
B11-0030	114+5	0,035	3,49	0,020	2,04	356	166	0,466	0,70	0,45	2,416	254,05	280,8	2,37	2,62	TUBO ADS-N12 Ø60"	
B12-0030	124+0,00	0,158	15,78		0,00	544	230	0,423	0,45		3,477	254,05	280,8	5,01	5,53	TUBO ADS-N12 Ø60"	
B13-0030	17+14,70	0,316	31,59		0,00	1022	126	0,123	0,45		9,081	201,74	222,83	7,97	8,80	BSCG 2,00X2,00	

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

As redes tubulares de drenagem foram dimensionadas, em correspondências às descargas de projeto, estabelecidas nos Estudos Hidrológicos. Foram especificadas obras cujas descargas máximas permissíveis, atendem, com flexibilidade, às descargas ocorrentes. As descargas permissíveis, definidas para as obras foram limitadas pelas condições:

- Carga energética a montante correspondente à elevação do nível d'água a uma cota acima do fundo da seção máxima igual a 80 % do diâmetro (condição de máxima vazão), para redes tubulares e de 80 % para as galerias celulares;
- A declividade da rede estará situada entre os seguintes patamares:
 1. A declividade deverá ser inferior àquela capaz de determinar velocidade máxima (8 m/s) , acima da qual tem início a instalação de processo erosivo nas paredes do concreto;
 2. A declividade deverá ser superior àquela capaz de evitar deposição de material sólido no fundo das redes.

Para as vias e talvegues transversais, onde necessário, ou seja, quando a vazão exigiu, projetaram-se redes tubulares, galerias celulares e bueiros que possibilitaram a interligação com a canalização projetada. Os projetos de canalização e drenagem são apresentados em prancha única, juntamente com perfis e detalhes.

O sistema de drenagem projetado para as vias adjacentes ao talvegue a ser canalizado, aproveita parcialmente redes e dispositivos de drenagem existentes, anexando-os nos novos trechos projetados, e por outro lado prevê demolição naqueles trechos onde foi verificada a insuficiência dessas redes ou em casos de incompatibilidade de cotas com a canalização projetada, substituindo-as .

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo considerou as principais características de um projeto de drenagem pluvial para serviços e atividades básicas de uma planta de beneficiamento mineral essenciais à melhoria das condições da própria atividade mineradora e da população do entorno. Foi possível compreender de acordo com os autoresselecionados para a revisão teórica, que este serviço deve contemplar não somente a compreende a distribuição de água em quantidade e qualidade adequadas a operacionalização da mina SIII, mas também a coleta e remoção das águas residuárias e de escoamento superficial da área ocupada pelas áreas de operacionalização, além da coleta e acondicionamento final dos rejeitos.

No contexto da implantação do sistema de drenagem pluvial na Mina SIII, em função de sua importância, foi observado e tratado como prioridade, os aspectos na infraestrutura, considerando-se que o bom funcionamento desses serviços implicando diretamente em operação mais segura das atividades de tratamento do rejeito de minérios bem como atividades correlatas ao seu beneficiamento, como a etapa da britagem.

Pôde-se verificar que a eficiência do sistema de drenagem pluvial para a Mina SII mostrou-se com resultado conclusivo, respeitando o período de observação adequado, fundamentando a construção dos elementos estruturantes do sistema de drenagem para esta unidade e avaliando a sua dinâmica no período de maior intensidade de precipitações.

Ficou evidenciada a importância e a necessidade de se contar com um projeto de sistema de drenagem, considerando alguns recursos necessários já existentes na Mina SIII, devendo havendo deste modo, um alinhamento para elaboração e adequação da atividade na rotina do empreendimento.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. E. DA S.; SCHUSTER; H. D. M.; LIMA, A. **Modelagem e simulação numérica do processo de drenagem em mina a céu aberto**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2011.

BARBOSA, S. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração**. Brasília: Agencia Nacional de Água e Instituto Brasileiro de Mineração, 2006.

BARROS, A. J. S. e LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 2012.

BARROS, D. A. D.; GUIMARÃES, J. C. C.; PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A. C.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S.. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 65, n. 1, p. 127-133, 2012.

BASTOS, M. J. N. **Aspecto sobre sistema de drenagem em pedreiras a céu aberto**. Visa Consultores. Março, 2000.

BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. **Metodologia Básica para Elaboração de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC): ênfase na elaboração de TCC de pós-graduação Lato Sensu**. São Paulo: Atlas, 2008.

CASTRO, L. M.; BARROS, D. A.; PEREIRA, A. A. S. Monitoramento de Águas Superficiais em Área de Exploração de Bauxita, no Planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais. **Revista Científica Aprender**, 3ª edição, 2009.

DAVID, Hugo. **Controle das águas em projetos de mineração**. 2014. https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24815/24815_4.PDF

FILHO, A. G. A, SZÉLIGA, M.R e ENOMOTO, C.F. **Estudo de medidas não estruturais para controle de inundações urbanas**. Curitiba: Atlas, 2012.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GONÇALVES, Luiz Eduardo Sapor. **Eficência do sistema de drenagem adotado na região de mineração de bauxita, na zona da mata de Minas Gerais**. Dissertação . Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal para obtenção do título Magister Scientiae. 2018.

LOURA, D. S. **Levantamento e Conservação do Solo: práticas conservacionistas de solos e águas**. Terraceamento agrícola, UFLA, 2011.

MARQUES, Gabriela Sekeff. **Manejo de Águas pluviais: estudo da rede**

drenagem e de soluções de baixo impacto na Região Administrativa Candangolândia. [Distrito Federal] 2019.

SILVEIRA, L. M. **Drenagem em minas de bauxita na região de poços de caldas**. Trabalho de Graduação, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil, p.32, 2014.

TEIXEIRA JÚNIOR, Paulo Borges. **Estudos de drenagem superficial aplicados às minas a céu aberto**. 2015.
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/17/087/17087445.pdf
. Acesso em: 11 de mar. 2021.

TUCCI, C.E.M **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Rio de Janeiro: Pinni, 2013.

VERGARA Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 9 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso, planejamento e métodos**. 2.ed. São Paulo: Bookman, 2010.

APÊNDICES

Apêndice I – Artigo

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

PLUVIAL DRAINAGE SYSTEM: a case study on the determination of flows for the dimensioning of devices in an iron production implantation work.

SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL: un estudio de caso sobre la determinación de flujos para el dimensionamiento de dispositivos en un trabajo de implantación de producción de hierro.

Recebido: 00/00/2021 | Revisado: 00/00/2021 | Aceito: 00/00/2021 | Publicado: 00/00/2021

Barbara Marques Carneiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7606-0905>

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais - FEAMIG, Brasil.

E-mail: barbaramarquesc@outlook.com

Keven Costa Barbosa Fajardo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7564-2276>

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais - FEAMIG, Brasil.

E-mail: keven.cbf@gmail.com

Michelle Marcuci Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6174-3754>

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais - FEAMIG, Brasil.

E-mail: michellemarcuci@gmail.com

Resumo

O presente estudo considera a realidade de uma mineradora denominada MinerXYZ e a descrição da memória de cálculo para o dimensionamento do projeto do sistema de drenagem pluvial. Parte-se do projeto de drenagem da Mina chamada S-1 voltando-se ao adequado direcionamento do fluxo superficial ao longo dos platôs e dos acessos, com o uso de dispositivos de drenagem, de forma a direcioná-los para as bacias de decantação ou local de desagüe seguro. O objetivo desse estudo foi conhecer as principais etapas para se executar um projeto de drenagem pluvial com base no estudo de caso em uma mineradora. A metodologia é descritiva em que optou pelo estudo de caso em uma mineradora de minério de ferro. Como resultados pôde-se verificar que a eficiência do sistema de drenagem pluvial para a Mina SII mostrou-se com resultado conclusivo, respeitando o período de observação adequado, que fundamenta a construção dos elementos estruturantes do sistema de drenagem para esta unidade e avaliando a sua dinâmica no período de maior intensidade de precipitações. Concluiu-se pela a importância e a necessidade de se contar com um projeto de sistema de drenagem, considerando alguns recursos necessários já existente na Mina SIII com um alinhamento para elaboração e adequação da atividade na rotina do empreendimento.

Palavras-chave: Drenagem; Pluvial; Mineração; Projeto.

Abstract

The present study considers the reality of a mining company called MinerXYZ and the description of the calculation memory for the dimensioning of the rainwater drainage system project. It starts with the drainage project for the Mine called S-1, focusing on the adequate direction of the surface flow along the plateaus and accesses, with the use of drainage devices, to direct them to the decantation basins or safe drain site. The objective of this study was to know the main steps to carry out a rainwater drainage project based on a case study in a mining company. The methodology is descriptive in that it opted for the case study in an iron ore mining company. As a result, it could be verified that the efficiency of the rainwater drainage system for Mine SI proved to be a conclusive result, respecting the appropriate observation period, which underlies the construction of the structural elements of the drainage system for this unit and evaluating its dynamics in the period of greatest rainfall intensity. It was concluded by the importance and necessity of having a drainage system project, considering some necessary resources already existing in Mine SI with an alignment for the elaboration and adequacy of the activity in the enterprise's routine.

Keywords: Drainage; Rainwater; Mining; Project.

Resumen

El presente estudio considera la realidad de una empresa minera denominada MinerXYZ y la descripción de la memoria de cálculo para el dimensionamiento del proyecto del sistema de drenaje pluvial. Se inicia con el proyecto de drenaje de la Mina denominado S-1, enfocándose en la adecuada dirección del flujo superficial a lo largo de las mesetas y accesos, con el uso de dispositivos de drenaje, con el fin de dirigirlos a las cuencas de decantación o drenaje seguro. El objetivo de este estudio fue conocer los principales pasos para llevar a cabo un proyecto de drenaje de aguas pluviales a partir de un estudio de caso en una empresa minera. La metodología es descriptiva ya que se optó por el estudio de caso en una empresa minera de hierro. Como resultado, se pudo verificar que la eficiencia del sistema de drenaje pluvial de la Mina SII resultó ser un resultado concluyente, respetando el período de observación adecuado, que subyace en la construcción de los elementos estructurales del sistema de drenaje de esta unidad y evaluando su dinámica en el período de mayor intensidad de lluvia. Se concluyó por la importancia y necesidad de contar con un proyecto de sistema de drenaje, considerando algunos recursos necesarios ya existentes en Mina SIII con una alineación para la elaboración y adecuación de la actividad en la rutina de la empresa.

Palabras clave: Drenaje; Agua de lluvia; Minería; Proyecto.

1. Introdução

Um sistema de drenagem (tubulação de drenagem) inclui toda a tubulação dentro de instalações públicas ou privadas, que transporta rejeitos, água da chuva ou outros resíduos líquidos para um ponto legal de descarte, mas não inclui a rede de um sistema ou uma estação de tratamento ou eliminação de rejeitos (LOURA, 2011).

Para realizar as suas atividades de extração, processamento e expedição de minérios na mina S-1, é necessário contar com a elaboração de um projeto técnico de sistema de drenagem, com o intuito de promover o escoamento das águas superficiais pluviais. Nesse sentido, considera-se a realidade de uma mineradora denominada MinerXYZ e a descrição da memória de cálculo para o dimensionamento do projeto do sistema de drenagem pluvial.

Considera-se a realidade de uma mineradora denominada MinerXYZ e a descrição da memória de cálculo para o dimensionamento do projeto do sistema de drenagem pluvial. O projeto de drenagem da Mina chamada S-1, refere-se ao adequado direcionamento do fluxo superficial ao longo dos platôs e dos acessos, com o uso de dispositivos de drenagem, de forma a direcioná-los para as bacias de decantação ou local de desague seguro. Quais os cuidados a serem observados na execução de um projeto técnico de drenagem pluvial para uma planta de exploração de minério? O objetivo geral foi conhecer as principais características para se executar um projeto de drenagem pluvial com base no estudo de caso em uma mineradora.

Faz-se necessário entender a dinâmica do Sistema de Drenagem Pluvial para o contexto das mineradoras, do processo executivo recorrentes no mesmo, assim como é de máxima importância abordar as possibilidades de recuperação, que é, de certa maneira, uma forma de contribuir para um melhor nível de qualidade da gestão dos rejeitos do processo produtivo e de segurança para trabalhadores e da própria população, por estarem mais expostas nas zonas de risco (LANGHAMMER, 2019).

2 Desenvolvimento

2.1 Sistema de drenagem para plantas de exploração de minério de ferro

A trajetória de evolução da mineração brasileira é resultado da crescente demanda mundial por minérios e, também, pelo avanço e redução do custo da tecnologia dos equipamentos. Considerando que estes aspectos têm viabilizado a execução de expressivos projetos mineiros, que sua vez alcançam, de maneira significativa, elementos não observados antes, como as relações estéril-minério mais prejudiciais.

Tucci (2013) cita que os referidos componentes refletem em montantes de capital a serem investidos até o momento em que se alcança o minério de interesse, permitindo a análise do retorno deste investimento.

Messe sentido é que Kipper (2015) considera a demanda por estudo de planejamento da lavra buscando a otimização da relação entre a economia global do projeto ou empreendimento e os riscos que estão associados às suas decisões de projeto. Dentre várias análises que precisam ser feitas, tem-se o sistema de drenagem específico a ser adotado para as plantas de exploração mineral, como considera Marques (2019) e, sendo este, o foco deste estudo. É preciso contar com projetos cada vez, mas detalhados, considerando todos os fatores geológicos e geotécnicos de estabilidade de segurança e, também, de economicidade do futuro empreendimento.

Neste contexto é que Sampaio (2011) destaca os estudos de drenagem assumindo uma função determinante, não apenas nos aspectos subsidiadores das decisões a serem tomadas sobre a planta de exploração e beneficiamento, mas, também com relação a estabilidade dos taludes. E, por consequência, no planejamento global da mobilização das águas envolvidas em sítio em que dará a instalação da planta em questão.

A problemática da água superficial advinda da precipitação ou de outras fontes envolve a coleta e direcionamento para canais de escoamento ao redor da estrutura. Contempla ainda, a condução por drenagem interna. De acordo com os aspectos do local em que se encontra instalada o sistema de drenagem (ARAÚJO, SCHUSTER; LIMA, 2011).

De acordo com Costa, Samuel-Rosa & Anjos (2018), o sistema de drenagem superficial precisa abarcar a execução de canais periféricos buscando à interceptação das águas pluviais vindas dos arredores externos da pilha e o redirecionamento dessas até o sistema extravasador final. Nas palavras de Gonçalves (2018, p.44), lê-se que “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”.

Nos chamados sistemas de isolamento e escoamento, Teixeira Júnior (2015) menciona tratar-se do que é comumente escolhido para impedir o fluxo de água para dentro da cava, são formadas para valas e diques ao seu redor. De acordo com Polat e Uysal (2018), o referido fluxo então tem redirecionamento para o fundo da cava (bottom pit) mediante de canaletas construídas nos pés das bancadas ou por tubulações. Na citada etapa é essencial evitar que a água escoe pela crista da bancada, e assim, se evita o processo de erosão excessiva, também conservando suas características geotécnicas.

2.2 Metodologia de projeto de drenagem

O procedimento relacionado ao projeto de drenagem, geralmente envolve as mesmas etapas e os mesmos estudos. A fim de melhor descrever cada um dos elementos que precisam ser observados e o que deve ser considerado, apresenta-se a síntese baseada nos estudos de Barros (2000); Franco (2004); Castro, Barros e Pereira (2009) e David (2014).

De acordo com Franco (2004), os estudos topográficos precisam ser iniciados pela delimitação da região em que as águas precipitadas concorrem, de algum modo, para área da futura cava. Trata-se de uma delimitação da região mediante divisores de água, em que se tem a instalação da obra. Silwamba & Chileshe (2015) destacam que são exigidas plantas topográficas em escalas adequadas 1:10.000 ou 1:25.000, ou contar com fotografias aéreas.

David (2014) esclarece que é necessário contar com a identificação dos percursos naturais de drenagem e as possíveis erosões que poderão servir como futuros canais receptores de águas movimentadas de outras áreas. Simultaneamente, é preciso identificar mediante as análises das plantas topográficas dos sítios mais propícios para instalação de reservatórios para o abastecimento de água para diferentes fins, a contar o consumo humano industrial.

Segundo Thompson, Peroni & Visser (2019), os reservatórios para decantação de rejeitos da usina de beneficiamento do minério; a instalação de corpos de bota fora para o estéril, dentre outros, relaciona-se com a

localização dos referidos elementos, não constituindo o projeto de drenagem, de fato, mas, estando relacionados a ele. Rock, Ries & Udelhoven (2020) destacam as características, tais como a disposição geral dos cursos naturais e artificiais da água, bem como o controle de poluição dos mananciais e a estabilidade de taludes de aterros de bota-fora, dentre outros.

No que se refere à hidrologia, Castro, Barros e Pereira (2009) esclarecem que, desde o instante em que se dá início as pesquisas de ocorrências minerais, é preciso voltar-se às instalações de pluviômetros na área, dar início a um acompanhamento diário e sistemático das chuvas. É possível considerar a participação de instituições oficiais e de empresas da região para acompanhamento pluviométrico de um intervalo de tempo maior.

Com o levantamento da totalidade dos elementos que podem implicar no estudo do regime de chuvas ainda mediante as estações pluviométricas relativamente distantes para além dos registros para a área de interesse. Gonçalves (2018) cita que, em uma perspectiva futura, a totalidade dos dados precisa ser tratada de maneira estatística com médias diária, mensal e anual, dentre outras, para que se possa proceder com tomadas de decisão mais assertiva.

Em relação ao projeto de drenagem o estudo do regime de chuvas inclui necessariamente a sazonalidade climática apontando não apenas os meses de maior intensidade de chuvas do ano na região, mas também indicando as metas diárias e mensais da estação chuvosa além dos períodos de concentração de chuvas dentre outros os referidos elementos podem fundamentar os projetos de sistemas de recalque, indicando também, a programação da instalação e manutenção destes.

2.3 Estudos de projeto

Sobre os estudos de projeto David (2014) detalha que os condicionantes de maior peso no processo decisório em relação a viabilidade da lavra se associam às pesquisas da forma da jazida da natureza do minério, da maneira que ocorrerá o beneficiamento dentre outros, dado que o investidor, geralmente, está preocupado com os teores e reservas recuperáveis do mineiro.

Em relação aos estudos de drenagem, Barros (2000) menciona que eles não influenciarão tais decisões, uma vez que não atingem de maneira direta, a relação minério estéril. As pesquisas fundamentam as análises de risco associados ao empreendimento. E, quando se traz os aspectos da geometria da futura cava, tem-se uma associação com os volumes recuperáveis de minério em que as ponderações relacionadas ao a movimentação das águas tem definição dada em termos de projeto.

Castro, Barros e Pereira (2009) explicam ainda, que os estudos de projetos mineiros, são realizados em etapas sucessivas de crescente detalhamento. Assim sendo, os estudos de drenagem de cava a céu aberto precisam ser também progressivamente pormenorizados, ao passo em que se tem novas informações no decorrer do desenvolvimento deste empreendimento. Considerando os estudos de Barros (2000); Franco (2004); Castro, Barros e Pereira (2009) e Silveira (2014), é possível correlacionar que as informações básicas relacionadas aos projetos de drenagem podem ser classificadas em dois segmentos a citar: baseando-se em estudos topográficos citados anteriormente e no arranjo geral da mina, precisam ser definidas as zonas de contribuição que poderão ser realocadas para caminho de drenagem externos a escavação.

Barros (2000) explica tratar-se de zonas em que a contribuição pode ingressar na escavação e zonas que precisam ser esgotadas por recalque. Esta última, conta com arranjo geral da mina, fornecendo as alturas de elevação correspondentes. Baseando-se nos estudos hidrológicos acerca do regime de chuvas, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração e, também, nos estudos geológicos, geotécnicos e hidrogeotécnicos acerca da

permeabilidade, zonas de recarga, regime de percolação, drenabilidade, dentre outros. É preciso delimitar as contribuições da precipitação pluviométrica e da água subterrânea para cada zona em questão.

3 METODOLOGIA

Quanto aos fins, o estudo pode ser classificado como pesquisa exploratória e descritiva, visto que a escolha se deu por estar alinhado à definição dada por Gil (2009), referindo-se às pesquisas que são adequadas à descrição teórica e expositiva dos assuntos a serem apresentados e por possibilitarem a consecução dos objetivos.

Foi descrita por ser conduzido para melhor compreensão do problema existente em relação ao adequado projeto de drenagem pluvial para a mineração. É descritivo também por permitir observar, registrar, analisar e correlacionar fatos ou fenômenos variáveis sem manipulá-los, sem qualquer interferência dos pesquisadores.

A pesquisa foi exploratória por ter permitido investigar um problema que não está claramente definido como é o caso de saber os detalhes e as singularidades do projeto de drenagem pluvial para a Mina S 1.

Quanto aos meios, se trata de uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso considerando-se o local de trabalho de um dos integrantes. De início, é uma revisão bibliográfica por considerar a seleção do conhecimento científico prévio sobre um determinado tema para que se possam definir os objetivos de um projeto de pesquisa como assinala

Por meio de uma abordagem qualitativa, foram analisados os critérios de maior impacto de um projeto de drenagem pluvial no contexto de uma mina de extração de minério de ferro para melhor compreensão das variáveis a serem trabalhadas, as condições do local e a melhoria que pode ser alcançada no dimensionamento dos projetos de drenagem pluvial para este contexto.

Na pesquisa deste projeto foram realizadas 6 visitas técnicas em março de 2021 como um dos procedimentos de pesquisa na coleta de dados, que permitem registros fotográficos, diários de visitas, observação não participante e entrevistas livres (conversas informais) com engenheiros responsáveis pelo projeto de drenagem pluvial, relacionadas às principais etapas para se executar um projeto de drenagem pluvial, com base no estudo de caso em uma mineradora.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Mina S III faz parte de um segundo projeto de cobre elaborado por uma das maiores mineradoras no Brasil. A referida Usina está situada em Marabá, sudeste paraense, e deu início a operação em novembro de 2012. O citado empreendimento, cuja capacidade nominal é de cerca e 100 mil toneladas anuais de cobre em concentrado. Com a expansão da operação, o Mina S II, a capacidade de produção do empreendimento foi duplicada para 200 mil toneladas por ano do produto.

O projeto S, em si, contempla a operação integrada de lavra a céu aberto, beneficiamento, transporte e embarque. O escoamento da produção é realizado por rodovia, da mina até terminal ferroviário da Mineradora em Parauapebas (PA), sendo transportada pela Estrada de Ferro Carajás até o terminal marítimo de Ponta da Madeira (MA). No ano de 2013, a unidade respondeu por 65 mil toneladas de cobre contido em concentrado, no ano seguinte de 2014, respondendo pela produção de 40,8 mil toneladas do produto. O projeto S é representado na Figura 1:

Figura 1 – Visão de parte do Projeto S I



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

No referido cenário destaca-se a S, é considerado maior projeto de cobre de uma das maiores mineradoras em operação no Brasil. A empresa explora a mina S, em Marabá, no Pará, com reserva estimada em 1,2 bilhão de toneladas de minério de cobre. Trata-se do maior depósito de cobre do país e responde por 48% do cobre produzido pela citada mineradora no mundo, sendo essencial para competitividade e fortalecimento do negócio.

O minério extraído em Marabá é exportado, em sua grande parte, para países europeus. Antes, o minério é submetido a um processo de britagem, em que seu tamanho reduzido, por rolos que o fragmentam e por demais etapas que desencadeiam um concentrado de cobre. O referido concentrado é transformado em placas e usado pela indústria. Buscando pela manutenção da competitividade internacional e o aumento da capacidade de beneficiamento da unidade, foi aportado um investimento de 1,1 bilhão de dólares no projeto S III. Trata-se da segunda expansão da mina desde o começo de suas operações em 2012 e, dentre as obras que tem duração de três anos, contemplam-se as de drenagem pluvial na mina.

Vale destacar que, no primeiro semestre de 2022, a mineradora já colocará em funcionamento o projeto de produção de cobre, o S III, com perspectiva de operação de 12 milhões de toneladas do minério. A expansão, do tipo técnico “brownfield” diz respeito a estratégia de aumentar a capacidade de processamento do complexo. O Projeto S, quando foi construído, considerou duas plantas e o S III vai aumentar a produção em 12 milhões de toneladas de minério que poderão ser processadas. O que representa, além das 24 milhões de toneladas de cobre já são produzidas pelas duas primeiras plantas, a inserção de mais 12 milhões. Além do cobre, também são produzidos minérios como ouro e prata, subprodutos do cobre. A Figura 2 mostra uma visão do Projeto da Minas SI especificamente em relação à drenagem pluvial.

Figura 2 - Projeto Salobo I – Drenagem Pluvial



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

O empreendimento denominado Drenagem Pluvial S III implantou o sistema de drenagem pluvial na mina e rede para interceptação e afastamento do local. Foram realizadas obras de drenagem, com galeria celular, rede tubular de concreto dn de 400mm a 100mm, rede tubular dispositivos de concreto de drenagem – coleta de água da chuva para desaguar no local certo – ponto de desaguar seguro (bacia de decantação) de rede de drenagem,

beneficiando a dinâmica da Mina S I. Porém, uma problemática comum em obras de drenagem também se fazia presente neste caso: conduzir as intervenções estruturantes de forma prevista em projeto e buscar um plano de ação para que conservasse as melhorias proporcionadas como citado por Tucci (2013).

O estudo permite compreender os aspectos principais da Mina S III sob a ótica da rede de macrodrenagem para captação de águas pluviais e dos problemas frequentes e graves de inundação. Não obstante, pode-se compreender a intensificação dos processos de erosão, o transporte e a deposição de sedimentos, bem como o lançamento de rejeitos nos canais promoveram uma aceleração significativa do processo de desgaste estrutural dos canais em concreto como reforça Teixeira Júnior (2015).

Não foram aceitos elementos estruturais que não estejam previstos em projeto e o responsável pelo projeto levou em consideração as soluções de drenagem - micro e macrodrenagem – existentes e ou planejadas na Mina S III. Os parâmetros para os cálculos hidrológicos e hidráulicos dos projetos de drenagem são adotados pela equipe responsável, salvo indicação diversa constante nesta diretriz ou indicação específica para o projeto por técnicos do Projeto da Mina S III. Para o conhecimento do regime de chuvas na região, foram coletados dados da estação meteorológica de Carajás – N5 mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Estudo hidrológico da região de Marabá

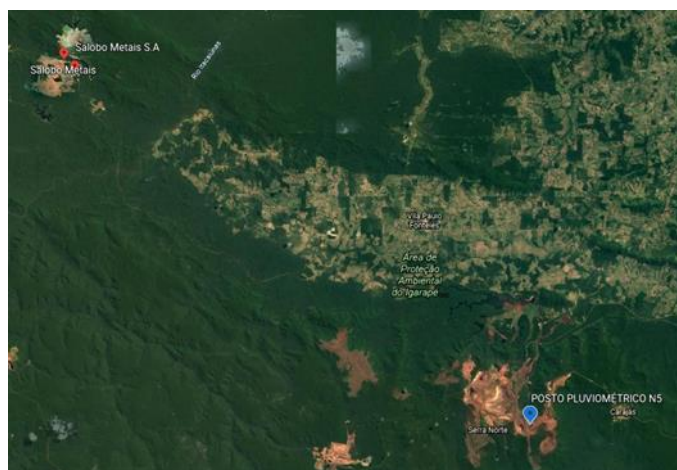
	Intensidade de Precipitação (mm/h)				
	10	15	25	50	100
P(24h)	7,64	8,35	9,22	10,39	11,55
P(12h)	12,99	14,19	15,67	17,66	19,64
P(10h)	15,04	16,43	18,15	20,45	22,73
P(8h)	17,89	19,53	21,58	24,31	27,03
P(6h)	22,01	24,04	26,55	29,92	33,26
P(1h)	77,05	84,14	92,94	104,73	116,43
P(30 min)	114,03	124,53	137,55	155,00	172,31
P(25 min)	124,52	135,99	150,20	169,25	188,17
P(20 min)	138,55	151,31	167,12	188,32	209,36
P(15 min)	159,65	174,35	192,57	216,99	241,24
P(10 min)	184,73	201,74	222,83	251,09	279,15
P(5 min)	232,63	254,05	280,60	316,19	351,52

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Para fins de elaboração dos projetos de microdrenagem, nos lançamentos em rede pública, seguiu-se na execução do levantamento topográfico da rede existente e apresentar estudos que comprovem que a rede existente comporta a vazão do lançamento do empreendimento como menciona Awasthi (2019). Em situações em que se tenha necessidade de incremento à rede existente, deve-se projetar a mesma até o ponto de compatibilização, ficando, em princípio, sob a responsabilidade do empreendedor a referida complementação, mesmo que sejam extrapolados os limites do empreendimento como sugere Kipper (2015).

Assim, o estudo hidrológico foi apresentado em planta com delimitação das bacias e sub-bacias e planilhas de cálculo das vazões, indicando com nitidez as bacias de contribuição e todos os parâmetros de cálculo utilizados. As redes de microdrenagem em que se adotou um período de recorrência de 10 anos. Nas canalizações (trocar) e redes de macrodrenagem deve-se adotar período de recorrência mínimo de 25 anos e o coeficiente volumétrico mínimo (C2) de 0,80 nas áreas de Minas. Na Figura 3 pode-se ver a localização do posto pluviométrico N5 da Mina S I:

Figura 3 - Posto pluviométrico N5 – Mina S I



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

O projeto das redes de drenagem são melhor apresentados nas seguintes etapas, juntamente com as memórias de cálculos sugeridos por David (2014). Planta geral de situação do projeto de drenagem com todas as redes projetadas. Pranchas com o projeto específico de cada rede em planta e perfil, indicando nos rodapés todos os parâmetros hidráulicos das redes conforme padrão Mina S I. O Estudo Hidrológico realizado objetivou a pesquisa dos elementos disponíveis representativos da pluviometria local, além da definição dos parâmetros de cálculo das descargas máximas prováveis das bacias hidrográficas que contribuem em todas as vias deste complexo viário como também destaca Gonçalves (2018).

A vazão máxima de projeto definida a jusante da bacia de contribuição é de 15,211 m³/s. Para as características geométricas das bacias de contribuição, foram utilizadas plantas de restituição aerofotogramétrica na escala de 1 :2000 e um minucioso estudo local. Em relação aos períodos de recorrência, tem-se: obras de drenagem superficial: 5 anos; redes coletoras: 10 anos e canalização de 25 anos. Na determinação vazão de projeto, esta foi definida a jusante da bacia de contribuição é de 15,211 m³/s. Para as características geométricas das bacias de contribuição, foram utilizadas plantas de restituição aerofotogramétrica na escala de 1 :2000 e um minucioso estudo local. Adotando o Método Racional - Bacias com área até 0,5km².

O coeficiente de deflúvio quantifica o grau de absorção de água pela superfície onde ocorre a precipitação, representando quantos % do volume precipitado será escoado efetivamente como mostra o Quadro 1:

Quadro 1 – Valores para o coeficiente de deflúvio

Coeficiente de deflúvio	C
Terreno natural	0,45
Xisto fino	0,50
Talude gramado	0,65
Revestimento primário	0,70
Pavimento flexível/rígido	0,90

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Importante destacar que nas fases iniciais do ciclo hidrológico, maior atenção foi dada a questão do escoamento superficial para a Mina SI, dado que se refere a uma etapa que verificou a ocorrência e transporte da

água na superfície terrestre, sendo os estudos hidrológicos indicando as possibilidades de aproveitamento da água superficial e à proteção em relação aos fenômenos desencadeados pelo seu deslocamento como foi citado por Silveira (2014).

Assim sendo, como frisado por Castro, Barros e Pereira (2009) o coeficiente de escoamento superficial acima apresentado também chamado de coeficiente de deflúvio, ou ainda, coeficiente de “runoff”, foi dado pela razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Deste modo, o coeficiente se aplica a ocorrência de chuva isolada ou a um intervalo de tempo em que diversas chuvas ocorreram. Com a determinação do coeficiente de “runoff” para chuvas intensas, com sua duração, se tem a possibilidade de determinar o escoamento superficial de demais precipitações de intensidades distintas, desde que se tenha igual duração.

No dimensionamento da rede de drenagem da Mina S III, foram considerados os parâmetros hidrológicos, dentre eles o Tempo de Retorno (T) –período que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez como visto em Barros (2000). O dimensionamento das obras de Drenagem de S III foi efetuado para atendimento às vazões de projeto associadas aos períodos de retorno indicados no Quadro 2:

Quadro 2 – Valores para o TR

ESTRUTURA	TR (Anos)
Drenagem Superficial	10
Bueiro Simples	15
Bueiro Celular	25
Canal do Rejeito	25
Bacias de Decantação	25
Caixas de Retenção	25

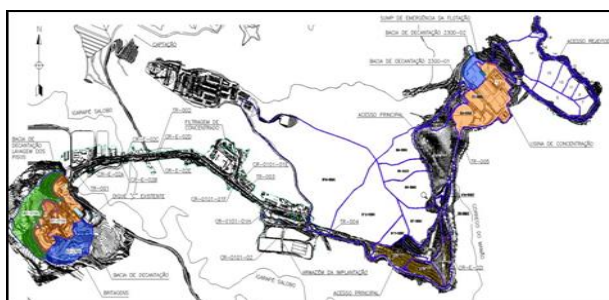
Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Já em relação ao Tempo de concentração, este considerou o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada, ou ainda é o tempo para que a gota de água que cai no ponto mais distante chegue até a seção que define o limite da bacia também citado por David (2014).

A rede de drenagem da Mina S I considerou todos os estudos realizados no local e o próprio arranjo da planta da mina com suas características geográficas, climáticas e topográficas como sugere Lin et al., (2020). Basicamente os problemas que foram enfrentados com relação à proximidade do período chuvoso comprometendo o cronograma de obra.

Como se trabalhou basicamente toda a área da Mina S III, também foi realizado um trabalho junto aos trabalhadores e moradores do entorno que podem ser atingidos diretamente, pois foi empregado com equipamentos pesados, muitas pessoas transitaram pelo local e eles podem se sentir incomodados com a presença da equipe técnica. A rede de esgotamento foi implantada nos dois lados da drenagem que também se tem a bacia de decantação de lavagem dos pisos próxima a área de operação de britagem e outra bacia de decantação situada próxima ao acesso principal da Mina S I, em que se tem a usina principal próxima ao Córrego do Mamão como mostra a Figura 4:

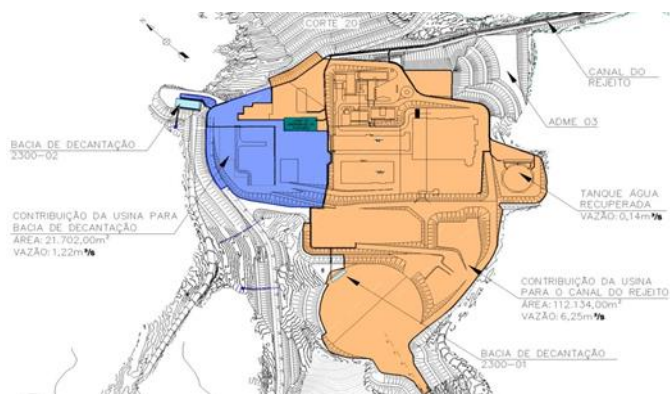
Figura 4 – Visão geral do projeto de drenagem da Mina S I



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na Figura 5 se tem o destaque da área comum da usina de concentração:

Figura 5 – Visão dos elementos próximos a usina de concentração da Mina SI

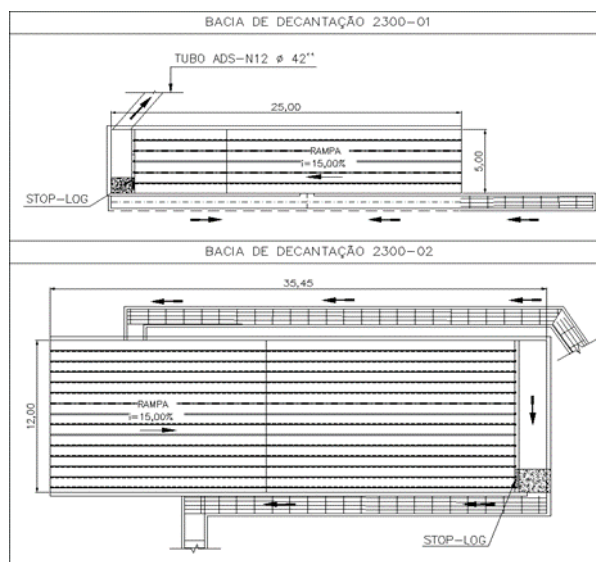


Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Observa-se a disposição da bacia de sedimentação, tanque de decantação ou tanque de decantação é uma estrutura de terra ou concreto que usa sedimentação para remover matéria sedimentável e turbidez das águas residuais. Os tanques de sedimentação podem ser ineficazes na redução da turbidez causada por pequenas partículas com gravidade específica baixa o suficiente para serem suspensas pelo movimento browniano descrito por Vander Kwaak, & Loague (2019).

A Figura 6 apresenta o layout de duas bacias de decantação da Mina S III em que as bacias eram utilizadas para armazenar os resíduos líquidos produzidos na lavagem dos minérios. Esse resíduo, uma mistura de água e sedimentos carregados de metais, é despejado nas bacias de decantação.

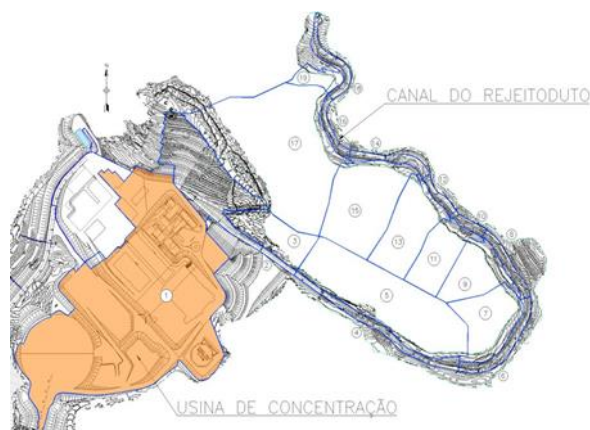
Figura 6 – Bacias de decantação



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na definição da concepção do projeto procuraram-se soluções que minimizassem os impactos ambientais, as operações com rejeito/ canais de rejeito, os custos de implantação e, ao mesmo tempo, que fossem tecnicamente seguras. O lançamento do sistema de canalização será feito a céu aberto longe das dependências lindeiras ao canal do rejeito. A velocidade mínima adotada foi de 3,00m/s; ademais, foi adotado seção mista para a seção do canal como mostra a Figura 7:

Figura 7 – Arranjo do canal de Rejeito



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

A seção do canal foi definida através do somatório da contribuição máxima industrial (constantes e eventuais) + pluvial e o canal trabalhando em toda sua extensão com lâmina de água correspondente a um máximo de 85% de sua altura. Para os trechos em curva foi considerado uma lâmina de água correspondente a um máximo de 90% de sua altura quando houver a superelevação.

Para o dimensionamento canal rejeito com as contribuições industriais usina tem-se os dados apresentados no Quadro 3:

Quadro 3– Valores das contribuições industriais da usina

Contribuições industriais da usina	Q (m ³ /s)
CONSTANTE REJEITO SALOBO III (0,53 A 1,46m ³ /s)	1,06
Eventual transbordo tanque de água recuperada	0,14
Eventual transbordo do sump de emergencia	1,40
Eventual transbordo prédio da recuperação de reagente	0,10
Eventual transbordo estocagem e preparação de cal	0,10
Eventual transbordo moagem de bolas	1,40
Constante caixa cx-0101sa-19	0,10
Contribuição total	4,70

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Observa-se que o projeto considerou o constante de rejeito; eventual transbordo de tanque de água recuperada e do sump de emergência; além de possível transbordo da recuperação do reagente e estocagem de preparação de cal; moagem das bolas e constante de caixa, cuja contribuição total foi de 4,70 Q (m³/s).

O Quadro 4 apresenta dos valores para contribuições totais:

Quadro 4 – Contribuições industriais da usina – constantes e eventuais – Pluvial usina e pluvial canal

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

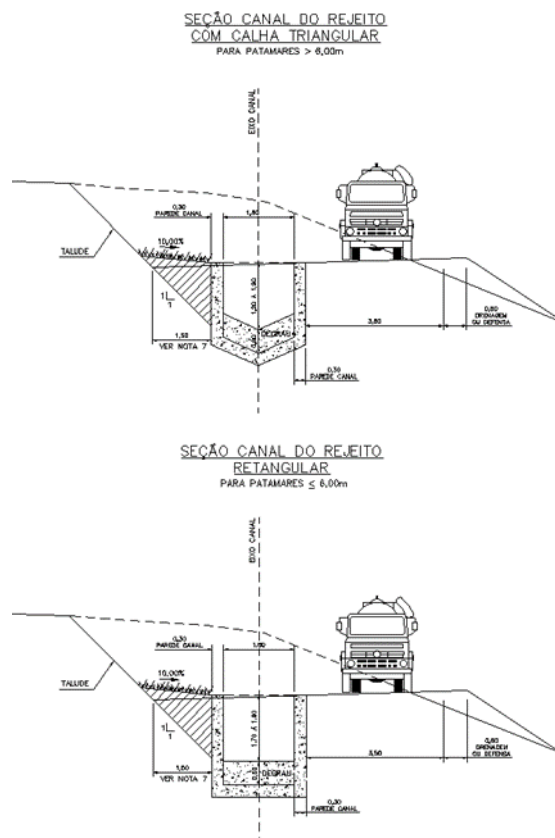
CANAL FUNCIONANDO NO CASO MAIS CRÍTICO (CONTRIBUIÇÕES INDUSTRIAIS DA USINA - CONSTANTES + EVENTUAIS) + PLUVIAL USINA + PLUVIAL CANAL																					
BACIAS	TRECHO	ESTACAS	Q	DISPOSITIVO								CAPACIDADE HIDRÁULICA									
				RETANGULAR				TRANGULAR				Rugos.	Área m. ²	Perim. m.	Raio h.	Q	U (máx.)				
				Declividade				Dimensões (m)										Dimensões (m)			
				(m ³ /s)	(‰)	Larg. (B)	Lâmina	Altura (h) Adotado	Altura (h) %	a	b							Altura (h)	"n"	(m ²)	(m)
INDUSTRIAL+1+2	A	EST. 0+0,00 A 8+15,00	10,96	2,50	1,80	1,06	1,30	0,82	0,90	0,90	0,30	0,014	1,638	3,417	0,479	11,330	6,92				
INDUSTRIAL+1+2	A	EST. 8+15,00 A 12+6,50	10,96	3,00	1,80	0,98	1,20	0,82	0,90	0,90	0,30	0,014	1,494	3,257	0,459	10,993	7,36				
A+3+4	B	EST. 12+6,50 A 21+16,00	11,75	3,00	1,80	1,04	1,30	0,80	0,90	0,90	0,30	0,014	1,602	3,377	0,474	12,055	7,52				
B+5+6	C	EST. 21+16,00 A 31+4,00	12,31	3,00	1,80	1,11	1,30	0,85	0,90	0,90	0,30	0,014	1,728	3,517	0,491	13,310	7,70				
C+7+8	D	EST. 31+4,00 A 43+16,00	13,16	3,00	1,80	1,11	1,30	0,85	0,90	0,90	0,30	0,014	1,728	3,517	0,491	13,310	7,70				
D+9+10	E	EST. 43+16,00 A 50+18,00	13,68	3,00	1,80	1,14	1,40	0,81	0,90	0,90	0,30	0,014	1,782	3,577	0,498	13,854	7,77				
E+11+12	F	EST. 50+18,00 A 54+18,00	14,12	3,00	1,80	1,16	1,50	0,77	0,90	0,90	0,30	0,014	1,818	3,617	0,503	14,218	7,82				
F+13+14	G	EST. 54+18,00 A 59+0,00	14,48	3,00	1,80	1,18	1,50	0,79	0,90	0,90	0,30	0,014	1,854	3,657	0,507	14,583	7,87				
G+15+16	H	EST. 59+0,00 A 65+0,00	15,04	3,00	1,80	1,21	1,50	0,81	0,90	0,90	0,30	0,014	1,908	3,717	0,513	15,132	7,93				
H+17+18	I	EST. 65+0,00 A 71+0,00	15,83	3,00	1,80	1,25	1,50	0,83	0,90	0,90	0,30	0,014	1,980	3,797	0,521	15,869	8,01				
I+19+20	J	EST. 71+0,00 A 75+0,00	16,94	3,00	1,80	1,31	1,60	0,82	0,90	0,90	0,30	0,014	2,088	3,917	0,533	16,982	8,13				
J+21+22	K	EST. 75+0,00 A 85+5,00	18,21	3,00	1,80	1,38	1,70	0,81	0,90	0,90	0,30	0,014	2,214	4,057	0,546	18,291	8,26				

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Os rejeitos das minas SI são transportados como polpa, algumas vezes em razão da gravidade mediante canais ou através de tubulações, com ou sem sistemas de bombeamento, conforme as elevações relativas entre a planta de beneficiamento e o local onde será descartado. A Figura 8 apresenta a seção do canal de rejeito da Mina

SI:

Figura 8 – Arranjo do canal de rejeito da Mina S I

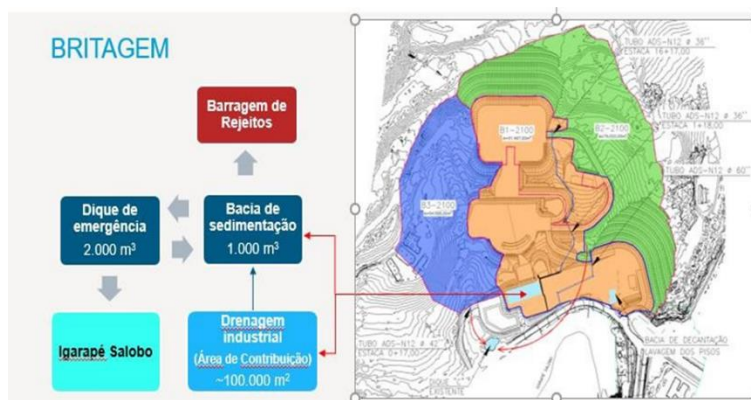


Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

O sistema de tubulação do canal de rejeito foi dimensionado baseando-se na velocidade mínima de fluxo demandada para evitar que as partículas no estado sólido do rejeito se sedimentem e obstruíssem a tubulação. A referida velocidade depende tanto da densidade da polpa, como do tamanho das partículas, oscilando em cerca de 1.5 a 3.0 m/s. A operação de britagem mostrada na Figura 9, foi também considerada no sistema de drenagem da

Mina S I:

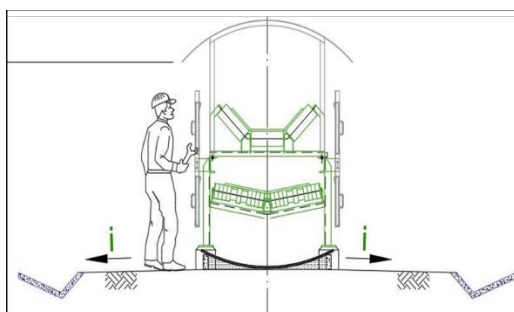
Figura 9 – Considerações sobre a operação de britagem 59



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

O projeto foi desenvolvido de forma se evitar ao máximo a entrada de efluente proveniente das chuvas na região das contenções por sob a correia. A drenagem pluvial foi totalmente segregada da drenagem contaminada. A Figura 10 representa a caixa de retenção de sedimentos adotada na Mina SI.

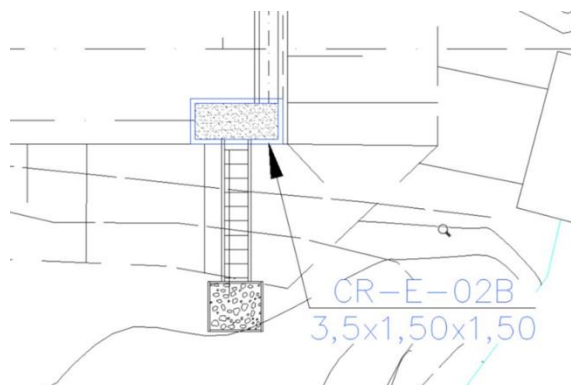
Figura 10 – Exemplo de caixa de retenção



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na Figura 11 se tem a visão da caixa de retenção CR – E- 02B escavada no solo, permitindo que a drenagem superficial entre e decante os sólidos arrastados.

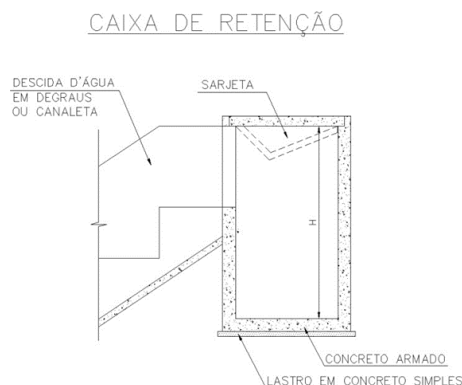
Figura 11 – Dimensão da caixa de retenção CR – E- 02B



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

Na Figura 12 se tem uma visão do escoamento da água dentro da caixa de retenção podendo ocorrer em degraus ou por canaleta:

Figura 12 – Descida da água no interior da caixa de retenção



Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

No Quadro 5 se os dados para o projeto de um sistema de drenagem de água da chuva para coletar o escoamento de água e proteger as estruturas existentes, bem como para evitar danos às casas como consequência de chuvas extraordinariamente altas. Especificamente, o sistema de drenagem de águas pluviais foi considerado para captar e conduzir a água da chuva até o corpo receptor projetado para tal fim.

Quadro 5 – Elementos estruturantes do Projeto detalhado S I

SALOBO - PROJETO DETALHADO MÉTODO RACIONAL ÁREA <0,5km ²																
Nº BACIA	ESTACA	ÁREA 1		ÁREA 2		L (m)	H (m)	i (m/m)	C1	C2	tc (cal.) (min)	I (mm/h)		Q (m ³ /s)		SEÇÃO DO BUEIRO (m)
		km ²	(ha)	km ²	(ha)							15 anos	25 anos	15 anos	25 anos	
ACESSO PRINCIPAL - EA-SK-0808A-B-0000-FL02.02 - PLANTA 01.06																
B1-0080	9+5	0,005	0,51	0,00	135	24	0,178	0,70	1,860	254,06	230,6	0,25	0,28	TUBO ADS-N12 Ø30"		
B2-0080	14+10	0,008	0,84	0,00	115	25	0,217	0,70	1,368	254,06	230,6	0,42	0,46	TUBO ADS-N12 Ø36"		
B3-0080	23+19	0,014	1,39	0,00	79	19	0,241	0,45	0,978	254,06	230,6	0,44	0,49	TUBO ADS-N12 Ø36"		
ACESSO PRINCIPAL - 00308A-B-52332_Rev.4 - PLANTA 02.06																
B4-0080	36+15	0,040	3,98	0,00	300	110	0,367	0,45	2,323	254,06	230,6	1,27	1,40	TUBO ADS-N12 Ø42"		
B5-0080	43+0	0,032	3,24	0,00	365	120	0,329	0,45	2,817	254,06	230,6	1,03	1,14	TUBO ADS-N12 Ø36"		
B6-0080	52+1,72	0,059	5,88	0,00	358	138	0,385	0,45	2,611	254,06	230,6	1,87	2,06	BSCC 1,50X1,50		
ACESSO PRINCIPAL - 00308A-B-52333_Rev.4 - PLANTA 03.06																
B7-0080	61+5,00	0,046	4,61	0,038	3,60	1024	132	0,129	0,45	0,70	8,940	201,74	222,83	2,57	2,84	TUBO ADS-N12 Ø60"
B8-0080	67+0,00	0,007	0,72	0,00	119	30	0,252	0,70	1,317	254,06	230,6	0,36	0,39	TUBO ADS-N12 Ø36"		
B9-0080	84+4,00	0,028	2,76	0,00	218	56	0,257	0,70	2,083	254,06	230,6	1,37	1,51	TUBO ADS-N12 Ø60"		
ACESSO PRINCIPAL - 00308A-B-52334_Rev.4 - PLANTA 04.06																
B10-0080	104+0,00	0,028	2,75	0,00	216	84	0,389	0,70	1,763	254,06	230,6	1,36	1,50	TUBO ADS-N12 Ø48"		
B11-0080	114+5	0,035	3,49	0,020	2,04	366	166	0,486	0,70	0,45	2,416	254,06	230,6	2,37	2,62	TUBO ADS-N12 Ø60"
B12-0080	124+0,00	0,158	15,78	0,00	544	230	0,423	0,45	3,477	254,06	230,6	5,01	5,53	TUBO ADS-N12 Ø60"		
B13-0080	17+14,70	0,316	31,59	0,00	1022	126	0,123	0,45	9,081	201,74	222,83	7,97	8,80	BSCC 2,00X2,00		

Fonte: dados primários da pesquisa, 2021.

As redes tubulares de drenagem foram dimensionadas, em correspondências às descargas de projeto, estabelecidas nos Estudos Hidrológicos. Foram especificadas obras cujas descargas máximas permissíveis, atendem, com flexibilidade, às descargas ocorrentes. As descargas permissíveis, definidas para as obras foram limitadas pelas condições: carga energética a montante correspondente à elevação do nível d'água a uma cota acima do fundo da seção máxima igual a 80 % do diâmetro (condição de máxima vazão), para redes tubulares e de 80 % para as galerias celulares; a declividade da rede estará situada entre os seguintes patamares: a declividade deverá ser inferior àquela capaz de determinar velocidade máxima (8 m/s), acima da qual tem início a instalação de processo erosivo nas paredes do concreto; a declividade deverá ser superior àquela capaz de evitar deposição de material sólido no fundo das redes. Para as vias e talwegues transversais, onde necessário, ou seja, quando a vazão exigiu, projetaram-se redes tubulares, galerias celulares e bueiros que possibilitaram a interligação com a canalização projetada. Os projetos de canalização e drenagem são apresentados em prancha única, juntamente com perfis e detalhes.

O sistema de drenagem projetado para as vias adjacentes ao talvegue a ser canalizado, aproveita parcialmente redes e dispositivos de drenagem existentes, anexando-os nos novos trechos projetados, e por outro

lado prevê demolição naqueles trechos onde foi verificada a insuficiência dessas redes ou em casos de incompatibilidade de cotas com a canalização projetada, substituindo-as

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo considerou as principais características de um projeto de drenagem pluvial para serviços e atividades básicas de uma planta de beneficiamento mineral essenciais à melhoria das condições da própria atividade mineradora e da população do entorno. Foi possível compreender de acordo com os autores selecionados para a revisão teórica, que este serviço deve contemplar não somente a distribuição de água em quantidade e qualidade adequadas a operacionalização da mina SI, mas também a coleta e remoção das águas residuárias e de escoamento superficial da área ocupada pelas áreas de operacionalização, além da coleta e acondicionamento final dos rejeitos.

No contexto da implantação do sistema de drenagem pluvial na Mina S I, em função de sua importância, foi observado e tratado como prioridade, os aspectos na infraestrutura, considerando-se que o bom funcionamento desses serviços implicando diretamente em operação mais segura das atividades de tratamento do rejeito de minérios bem como atividades correlatas ao seu beneficiamento, como a etapa da britagem. Pôde-se verificar que a eficiência do sistema de drenagem pluvial para a Mina SI mostrou-se com resultado conclusivo, respeitando o período de observação adequado, fundamentando a construção dos elementos estruturantes do sistema de drenagem para esta unidade e avaliando a sua dinâmica no período de maior intensidade de precipitações.

Ficou evidenciada a importância e a necessidade de se contar com um projeto de sistema de drenagem, considerando alguns recursos necessários já existente na Mina SI, devendo havendo deste modo, um alinhamento para elaboração e adequação da atividade na rotina do empreendimento.

Sugerem-se estudos futuros que possam comparar diferentes propostas de drenagem pluvial em contextos distintos, com medidas estruturantes e não estruturantes, a fim de estabelecer um intercâmbio de tecnologias; métodos construtivos e alternativas em termos de materiais e soluções para minas a céu aberto e sistemas de drenagem pluvial.

REFERÊNCIAS

- Awasthi, B. (2019), Analyzing the effect of distribution pattern & number of GCPs on overall accuracy of UAV photogrammetric results. *International Conference on Unmanned Aerial System in Geomatics*.
- Araújo, C. E. Da S. & Schuster; H. D. M.; Lima, A (2011). *Modelagem e simulação numérica do processo de drenagem em mina a céu aberto*. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. v.1, p.32-6, Julho, Ouro Preto-MG.
- Barros, D. A. D.; Guimarães, J. C. C.; Pereira, J. A. A.; Borges, L. A. C.; Silva, R. A. & Pereira, A. A. S. (2012) Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. *Rem:Revista Escola de Minas*, v. 65, n. 1, p. 127-133.
- Castro, L. M.; Barros, D. A. & Pereira, A. A. S (2009). Monitoramento de Águas Superficiais em Área de Exploração de Bauxita, no Planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais. *Revista Científica Aprender*, v. 13, n. 1, p. 72-94.
- Costa, E.M., Samuel-Rosa, A. & Anjos, L.H.C. (2018). Digital elevation model quality on digital soil mapping prediction accuracy. *Ciência e Agrotecnologia*, [online]. 42(6), pp.608-622, 2018.
- David, Hugo. (2014). *Controle das águas em projetos de mineração*. 2014. https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24815/24815_4.PDF.
- Franco, E. J. (2004) *Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Gonçalves, L. E. S. (2018). *Eficiência do sistema de drenagem adotado na região de mineração de bauxita, na zona da mata de Minas Gerais*. Dissertação . Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós- Graduação em Ciência Florestal para obtenção do título Magister Scientiae.
- Langhammer, J. (2019), UAV monitoring of stream restorations. *Hydrology*, [Online]. 6(29), art. 29.
- Lin, C. A., L. Wen, G. H. Lu, Z. Y. Wu, J. Y. Zhang, Y. Yang, Y. F. Zhu, & L. Y. Tong, (2020) Atmospheric-hydrological modeling of severe precipitation and floods in the Huaihe River Basin, China. *J. Hydrol.*, 330, 249–259
- Loura, D. S. (2011). *Levantamento e Conservação do Solo: práticas conservacionistas de solos e águas*. Terraceamento agrícola, UFLA, 2011.

Marques, G. S. (2019) *Manejo de Águas pluviais: estudo da rede drenagem e de soluções de baixo impacto na Região Administrativa Candangolândia*. Distrito Federal.

Polat, N. & Uysal, M. (2018) An experimental analysis of digital elevation models generated with Lidar Data and UAV photogrammetry. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(7), pp. 1135-1142.

Rock, G., Ries, J.B. & Udelhoven, T. (2020). Sensitivity analysis of UAV-photogrammetry for creating digital elevation models (DEM). In: *Proceedings of the Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics*, Zurich, Switzerland, Vol. 1416.

Silwamba, C. & Chileshe, P. R. K. (2015). Risk Evaluation and Mitigation Measures for Slope Management at Chingola Open Pit D&F Zambia. Symposium Series S83: Copper Cobalt Africa 2015 – 8th Southern African Institute of Mining and Metallurgy Base Metals Conference, pp. 21 - 32, 6 – 8th July 2015, Livingstone, Zambia. Johannesburg, South Africa: *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, ISBN 978-1-920410-71-1

Silveira, L. M. (2014). *Drenagem em minas de bauxita na região de poços de caldas*. Trabalho de Graduação, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil, p.32.

Teixeira Júnior, Paulo Borges. (2015) *Estudos de drenagem superficial aplicados às minas a céu aberto*. <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/17/087/17087445.pdf>

Thompson, R.J, Peroni R.L. & Visser, A.T. (2019). *Mining Haul Roads: Theory and Practice*. CRC Press, UK, 316 P.

Tucci, C.E.M (2013). *Gerenciamento da Drenagem Urbana*. Rio de Janeiro: Pinni.

VanderKwaak, J. E., & K. Loague (2019): Hydrologic-response simulations for the R-5 catchment with a comprehensive physics-based model. *Water Resour. Res.*, 37, 999–1013