



**Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM)**

Maria Eduarda Rodrigues de Almeida Campos

**Estudo de caso do dimensionamento hidrológico e hidráulico dos
sumps na área lavrável do empreendimento minerário mineração
Ibirité - MIB**

Poços de Caldas
2023

Maria Eduarda Rodrigues de Almeida Campos



Estudo de Caso do Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico dos Sumps na Área Lavrável do Empreendimento Minerário Mineração Ibirité - MIB

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Edmo da Cunha Rodovalho.

Poços de Caldas
2023



Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Rodrigues de Almeida Campos, Maria Eduarda .
ESTUDO DE CASO DO DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
DOS SUMPS NA ÁREA LAVRÁVEL DO EMPREENDIMENTO MINERÁRIO
MINERAÇÃO IBIRITÉ - MIB / Maria Eduarda Rodrigues de Almeida Campos. -
Poços de Caldas, MG, 2023.
62 f. : il. -

Orientador(a): Edmo da Cunha Rodovalho.
Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de
Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.
Bibliografia.

1. Mineração. 2. Sistema de drenagem. 3. Dimensionamento Hidráulico.
I. da Cunha Rodovalho, Edmo , orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.



MARIA EDUARDA RODRIGUES DE ALMEIDA CAMPOS

**ESTUDO DE CASO DO DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DOS SUMPS
NA ÁREA LAVRÁVEL DO EMPREENDIMENTO MINERÁRIO MINERAÇÃO IBIRITÉ – MIB**

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra de Minas

Aprovada em: 23 de junho de 2023

Orientador: Edmo da Cunha Rodovalho

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Examinador 1: Luiz Carlos Rusilo

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Examinador 2: Osvail André Quaglio

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:





LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do empreendimento, detalhe para indicação do PIT Norte.	15
Figura 2: Acesso ao empreendimento.	16
Figura 3: Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco (Mod. de Schobbenhaus & Bellizzia, 2000).	17
Figura 4: Mapa geológico simplificado do QF, extraído e adaptado de Alkmim & Marshak (1998).	18
Figura 5: Imagem SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) do Quadrilátero Ferrífero, com sombreamento de relevo. Fonte: VALE (2019).	20
Figura 6: Divisão das mesorregiões de Minas Gerais (a) e zoneamento climático da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (b). Fonte: SÁ, 2009.	21
Figura 7: Bacia do Rio Paraopeba. Fonte: SILVA, B.M.B, SILVA, D. D. e MOREIRA, M.C. (2011).	22
Figura 8: Distância entre a estação Melo Franco e área de estudo.	24
Figura 9: Isozonas para Brasil definidas no trabalho de Torrico 1974.	29
Figura 10: Desenho esquemático do vertedouro retangular com indicação da fórmula de cálculo	36
Figura 11: Detalhe da parte média da encosta com modelagem no QGIS com indicação das micro drenagens obtidas.	40
Figura 12: Mapa da declividade do PIT Norte, com atenção aos pontos de maior potencial erosivo	42
Figura 13: Linhas de Fluxo na parte média do Pit Norte, a montante do Sump 16.	46
Figura 14: Linhas de Fluxo ligando os Sumps 7, 8 e 9.	46
Figura 15: Linhas de fluxo da área de drenagem do Sump 17 A.	47
Figura 16: Imagem de satélite dos pontos C e D que apresentaram declividade acentuada.	48
Figura 17: A esquerda, mapa de declividade da parte alta, com indicação dos pontos de atenção: A) Declividade alta devido a presença de árvores e arbustos; B) Alta declividade devida à parede do Sump 14. Adireita a imagem de satélite para comparação ao mapa de declividade dos pontos A e B.	48
Figura 18: Região média da encosta onde há presença de maiores declividades de encostas e rampas, indicando que é uma região com maiores velocidades	49
Figura 19: Dissipador de Rampa dentada. Fonte: Baptista (2010).	50
Figura 20: Exemplo de uma estrutura com macrorrugosidades – Rampa com blocos (extraído de USDA, 1981).	50
Figura 21: A esquerda tapete de enrocamento à saída de uma passagem hidráulica (extraído de FEMA, 2010). A direita utilização do tipo colchão gabião. Fonte: Deflor Engenharia.	51
Figura 22: Detalhe do Plano de Ação 01.	52



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estações Pluviométricas da região com destaque em laranja para estação escolhida	23
Tabela 2: Resultados para os diferentes Tempos de Retorno para chuva de 1 dia, pelo método Chow- Gumble para o Posto Melo Franco.	27
Tabela 3: Cálculo das precipitações para diferentes durações.	28
Tabela 4: Coeficientes de desagregação das chuvas associados as isozonas. Valores para isozona D em destaque, onde está localizado o Posto Melo Franco. Fonte: Torrico 1974.	29
Tabela 5: Fórmulas para cálculo da precipitação para demais durações.	30
Tabela 6: Resultados dos valores de precipitação para todas as durações e tempos de retorno.	30
Tabela 7: Resultados do cálculo das intensidades para todas as durações.	31
Tabela 8: Resultados dos parâmetros IDF obtidos através do SOLVER	34
Tabela 9: Tabela com valores de referência para Coeficiente de Escoamento Superficial.	35
Tabela 10: Cálculo da vazão de projeto considerando o tempo de recorrência 25 anos.	36
Tabela 11: Cálculo da largura recomendada para vertedouros retangulares, considerando a vazão de projeto obtida.	37
Tabela 12: Taxas de geração específica de sedimentos.	38
Tabela 13: Lista de Sumps com vazão máxima aumentada, devido ao deságue de outros Sumps	43
Tabela 14: Identificação dos Sumps dimensionados com carga mínima de 25cm	43
Tabela 15: Identificação dos Sumps dimensionados com carga mínima maior que 25cm.	44
Tabela 16: Listagem dos Sumps com vida útil maior que 1 ano.	45
Tabela 17: Listagem dos Sumps com vida útil menor que 1 ano.	45



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Histograma de precipitações total mensal.	25
Gráfico 2: Histograma de precipitações diária.	25
Gráfico 3: Histograma do número de dias de chuva mensal.	25
Gráfico 4: Gráfico de Precipitação x Duração para os diferentes tempos de retorno estudados.	30
Gráfico 5: Gráfico de Intensidade vs Duração para cada um dos tempos de retorno calculados.	32
Gráfico 6: Equação de verificação da conformidade dos valores de IDF.	34



LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MIB	Mineração Ibirité Ltda
MNT	Modelo Numérico de Terreno
NBR	Normas Brasileiras
PA	Plano de Ação
QF	Quadrilátero Ferrífero
RB	Referências Básicas
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
TR	Tempos de Retorno
UTM	Unidade de Tratamento de Minério



RESUMO

Os estudos hidrológicos são desenvolvidos com a finalidade de se obter e analisar os elementos hidrológicos regionais, a fim de estabelecer os parâmetros adequados para o dimensionamento de obras de drenagem superficial, assim como obtenção de informações como meses de máxima, meses de mínima e elementos climáticos, com vistas ao entendimento climático e estudos do local.

Neste presente trabalho, foi elaborado inicialmente um estudo hidrológico estatístico, juntamente a uma empresa especializada, com base nos dados de pluviometria da região, com o objetivo de encontrar as chuvas máximas para diferentes tempos de recorrência. A partir daí, poderá ser verificado se os volumes dos Sumps existentes atualmente são compatíveis com suas áreas de drenagem e volume de água direcionado para estes.

Pensando em minimizar os pontos de erosão e o carreamento de sedimentos para os córregos da região, foram sugeridos dois tipos de dissipadores como alternativas, dissipador de energia e tapete de enrocamento.

Os resultados deste estudo recomendaram a expansão de alguns sumps. E que no período de chuvas, sejam realizadas vistorias periódicas com maior frequência em todo o sistema a fim de perceber falhas de direcionamento, identificar zonas de erosão com formação de sulcos e ravinas e realizar a limpeza de estruturas que porventura estejam preenchidos com sedimentos.

Palavras-chave: Sump; Sistema de drenagem; Dimensionamento hidráulico.



ABSTRACT

The hydrological studies are developed with the purpose of obtaining and analyzing the regional hydrological elements, in order to establish the appropriate parameters for the design of surface drainage works, as well as obtaining information such as maximum months, minimum months and climatic elements, with a view to climate understanding and site studies.

In this work, a statistical hydrological study was initially elaborated, together with a specialized company, based on rainfall data from the region, with the objective of finding the maximum rainfall for different recurrence times. From there, it can be verified if the volumes of the existing Sumps are compatible with their drainage areas and volume of water directed to these.

Thinking about minimizing the points of erosion and the carrying of sediments to the streams in the region, two types of sinks were suggested as alternatives, energy sink and riprap mat. The results of this study recommended the expansion of some sumps. And that, during the rainy season, periodic inspections are carried out more frequently throughout the system in order to perceive failures in direction, identify erosion zones with the formation of grooves and ravines and carry out the cleaning of structures that may be filled with sediments.

Keywords: Sump; Drainage system; Hydraulic sizing.



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE GRÁFICOS	7
LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. OBJETIVO GERAL	14
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.2. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO	14
1.3. LOCALIZAÇÃO	15
2. METODOLOGIA	16
3. DESENVOLVIMENTO	17
3.1. CARACTERÍSTICAS LOCAIS	17
3.1.1. CONTEXTO GEOLÓGICO	17
3.1.2. CONTEXTO PEDOLÓGICO	19
3.1.3. GEOMORFOLOGIA	19
3.1.4. CLIMA	21
3.1.5. HIDROGRAFIA	21
3.2. ESTUDO HIDROLÓGICO	22
3.2.1. POSTO PLUVIOMÉTRICO	23
3.2.2. TRATAMENTO ESTATÍSTICO E CORREÇÃO DE FALHAS DAS PRECIPITAÇÕES	24
3.2.3. ELABORAÇÃO DO HISTOGRAMA DE PRECIPITAÇÃO	24
3.2.4. Método chow-gumble - determinação das precipitações para os tempos de retorno (tr)	25
3.2.5. ELABORAÇÃO DAS CURVAS PRECIPITAÇÃO X DURAÇÃO X FREQUÊNCIA	28
3.2.6. MÉTODO DAS ISOZONAS	28
3.2.7. ELABORAÇÃO DAS CURVAS INTENSIDADE X DURAÇÃO X FREQUÊNCIA	31
3.2.8. CÁLCULO DOS PARÂMETROS IDF	32
3.3. CÁLCULO DOS VOLUMES DESTINADOS AOS SUMPS	34
3.3.1. CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDOUROS	35
3.3.2. CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DOS SUMPS	37
3.4. ANÁLISE ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	38
3.4.1. ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM	39
3.4.2. ANÁLISE DA DECLIVIDADE	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1. VERTEDOUROS	42
4.2. VIDA ÚTIL DOS SUMPS	44
4.3. MODELAGEM SIG DA DRENAGEM	45
4.4. DECLIVIDADE	47
4.5. RECOMENDAÇÕES	49



4.5.1.	PONTOS DE DESAGUE	49
4.5.2.	DISSIPADOR DE ENERGIA	50
4.5.3.	TAPETE DE ENROCAMENTO	51
4.5.4.	RECOMENDAÇÕES SOBRE AS DRENAGENS DO PIT NORTE	51
5.	CONCLUSÃO	54
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
7.	ANEXOS	58
	ANEXO I	59
	ANEXO II	61
	ANEXO III	63
	ANEXO IV	64
	ANEXO V	65



1. INTRODUÇÃO

A mina da Mineração Ibrité (MIB) está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, na cidade de Brumadinho. Localmente a Serra Três Irmãos, que é a denominação local para a continuação oeste da Serra do Curral, é o divisor de águas entre a bacia dos córregos Capão Grande, Campo Belo e Corredor a norte, e as bacias dos ribeirões Casa Branca e Ferro Carvão, a sul.

O clima dominante na região é subtropical úmido. Há muito menos pluviosidade no inverno que no verão, com pluviosidade média anual de 107,7mm. A estação de maior precipitação dura 5,3 meses, de 20 de outubro a 30 de março, com probabilidade acima de 37% de que um determinado dia tenha precipitação. O mês com maior número de dias com precipitação em Brumadinho é dezembro, com média de 15,6 dias com precipitação.

A sub-bacia do rio Paraopeba está situada no Alto São Francisco e abrange uma área de drenagem de 13.642 km². Representa 2,2% da área do Estado de Minas Gerais, contribuindo com cerca de 9,1% do volume médio escoado na foz do rio São Francisco (PEREIRA et al., 2007).

Considerando-se o caráter litológico predominante, o comportamento hidrodinâmico e os tipos de permeabilidade são identificados diferentes aquícludes e aquíferos que caracterizam a hidrografia da região. Os aquícludes são representados na área, principalmente, pela predominância de rochas pelíticas e por rochas intrusivas básicas. Os aquíferos, por sua vez, podem ser divididos em duas categorias, quais sejam: aquíferos fissurados e aquíferos granulares ou porosos (Myr, 2013).

Os estudos hidrológicos são desenvolvidos com a finalidade de se obter e analisar os



elementos hidrológicos regionais, a fim de estabelecer os parâmetros adequados para o dimensionamento de obras de drenagem superficial e das obras-de-arte para transposição de talvegues, assim como obtenção de informações como meses de máxima, meses de mínima e elementos climáticos, com vistas ao entendimento climático e estudos do local (DNIT, 2015).

Para realização deste estudo hidrológico foi realizado o levantamento da série histórica de Postos Pluviométricos, localizados no Município de Brumadinho, com proximidade a área de estudo (Pit Norte) e a qual dispõe de acervo de dados maior que 15 anos.

1.1. Objetivos

O presente trabalho visa estabelecer uma análise sobre o dimensionamento hidráulico dos Sumps, reservatório escavados em locais estratégicos para onde maior parte da água superficial da mina é direcionada, presentes no Pit Norte do empreendimento MIB.

Desta forma, foi elaborado inicialmente um estudo hidrológico estatístico, juntamente a uma empresa especializada, com base nos dados de pluviometria da região, com o objetivo de encontrar as chuvas máximas para diferentes tempos de recorrência. A partir daí, poderá ser verificado se os volumes dos Sumps existentes atualmente são compatíveis com suas áreas de drenagem e volume de água direcionado para estes. Sendo que desta análise comparativa, será possível indicar melhorias no sistema de drenagem, assim como adaptações nas dimensões dos Sumps que não atenderem ao volume das chuvas direcionado para estes.

1.1.1. Objetivo geral

Verificar se os volumes dos Sumps existentes atualmente são compatíveis com suas áreas de drenagem e volume de água direcionado.

1.1.2. Objetivos específicos

- a) realizar análise sobre o dimensionamento hidráulico dos Sumps presentes no Pit Norte;
- b) indicar melhorias no sistema de drenagem;
- c) realizar adaptações nas dimensões dos Sumps que não atenderem ao volume das chuvas direcionado para estes;

1.2. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento Mineração Ibirité Ltda. – MIB caracteriza-se por uma lavra à céu aberto com tratamento à úmido de minério de ferro, com uma escala de produção limite máxima

de 1.500.000 t/ano compreendendo as etapas produtivas de lavra, beneficiamento e comercialização dos produtos. Colateral à extração e ao beneficiamento ocorre, respectivamente, geração de estéril e rejeito. O minério beneficiado atualmente na unidade de tratamento de minério (UTM) é proveniente de terceiros, sendo que o rejeito está sendo disposto nas baias existentes no empreendimento.

O empreendimento e consequentemente o Pit Norte, estão localizados na parte nordeste do município de Brumadinho, próximo dos limites com as cidades Sarzedo (Figura 1), fazendo divisa com a Mina de Jangada ao Norte e Mina Córrego do Feijão a Oeste, ambas empreendimento da Vale.

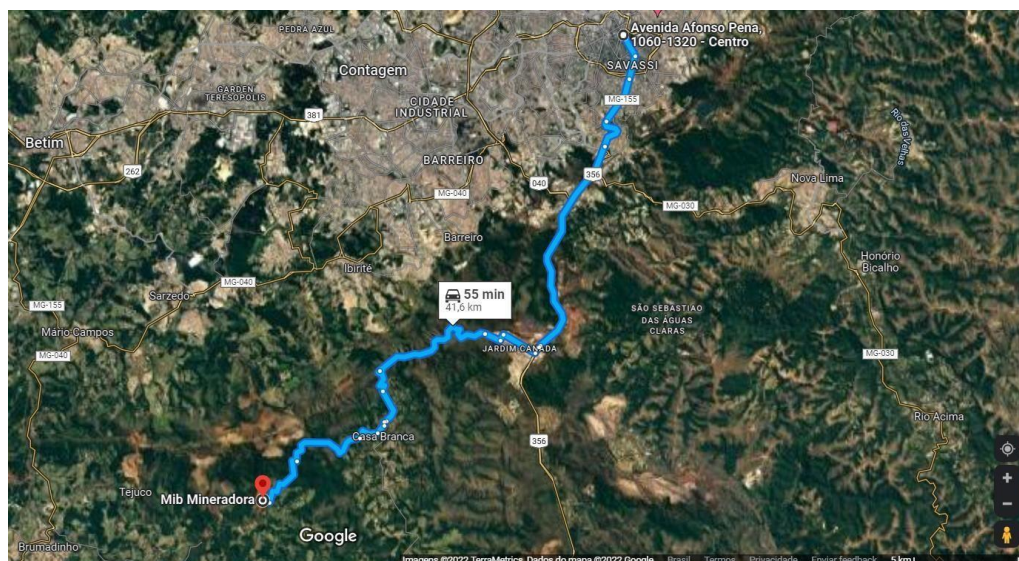
Figura 1: Localização do empreendimento, detalhe para indicação do PIT Norte.



1.3. LOCALIZAÇÃO

O empreendimento da MIB fica a aproximadamente 42 km ao sudoeste da capital mineira, Belo Horizonte, na divisa dos municípios de Brumadinho, Mário Campos e Sarzedo. O acesso pode ser feito saindo de Belo Horizonte pela BR-040, sentido Rio de Janeiro até o Bairro Jardim Canadá. A portaria da mina encontra-se a cerca de 10 km do centro de Casa Branca (Figura 2)

Figura 2: Acesso ao empreendimento.



2. METODOLOGIA

Os estudos apresentados neste estudo de caso, apoiam-se nas seguintes Atividades e Referências Básicas (RB):

- RB-1: Inspeção de campo realizadas no empreendimento juntamente com uma empresa parceira;
- RB-2: Levantamentos topográficos da área juntamente com ortofoto fornecido pela MIB (Atualização topográfica março e julho 2022);
- RB-3: Desenho e identificação dos Sumps;
- RB-4: Dados pluviométricos da Estação Melo Franco - Sistema de Informações Hidrológicas - ANA.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. CARACTERÍSTICAS LOCAIS

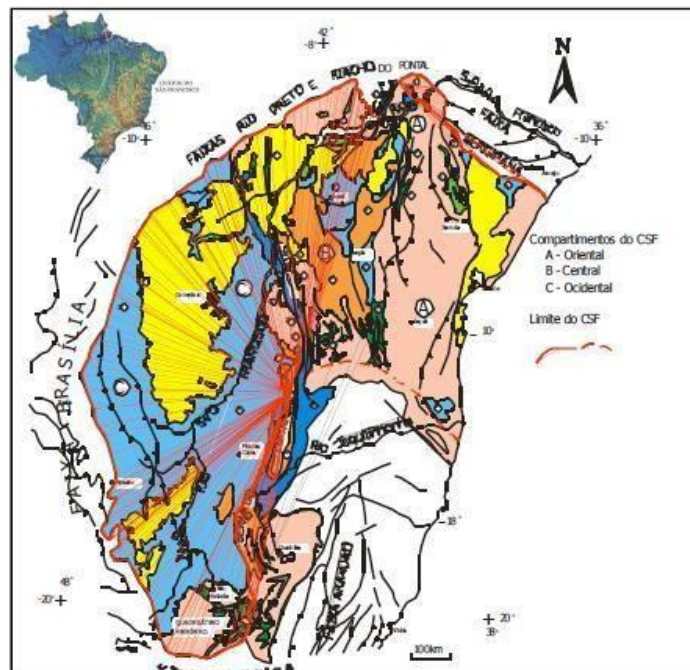
O município de Brumadinho está localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte em Minas Gerais, com uma área total de 639,4 km². Suas coordenadas geográficas são latitude -20.1182 e longitude -44.201.

A cidade tem sua principal base econômica sustentada pela atividade da mineração. Circundado por pelo menos quatro serras, Brumadinho começou a explorar recentemente o turismo das paisagens naturais.

3.1.1. Contexto geológico

O contexto geotectônico da região da mina está inserido na porção meridional do Cráton São Francisco, noroeste do Quadrilátero Ferrífero, como indicado na Figura 3. Hospedado no escudo Atlântico, o Cráton São Francisco é limitado por zonas de suturas que correspondem aos orógenos brasileiros, estando a norte as faixas Sergipanas e Riacho do Pontal, a noroeste a faixa Rio Preto, a oeste a faixa Brasília, a sul a faixa Ribeira e a sudeste a faixa Araçuaí (ALMEIDA, 1977).

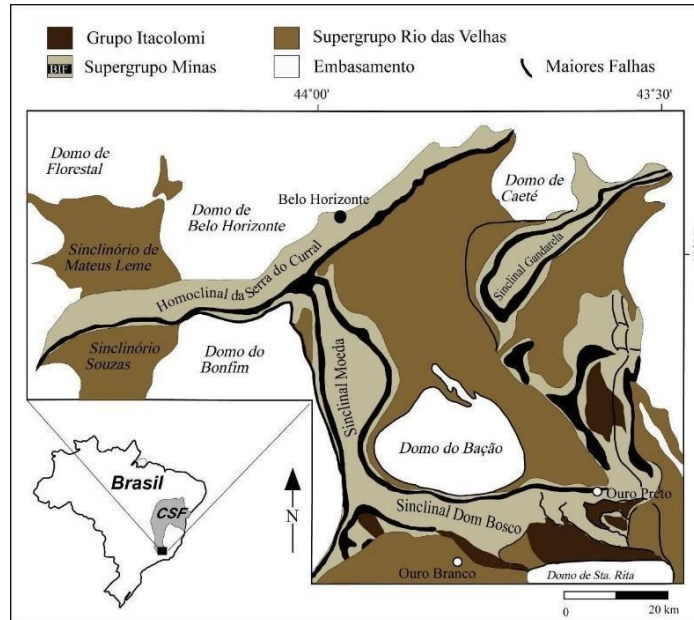
Figura 3: Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco (Mod. de Schobbenhaus & Bellizzia, 2000).



A região do Quadrilátero Ferrífero se destaca como uma das mais importantes

províncias minerais brasileiras devido à sua riqueza e diversidade metalogenética. Em função disto, possui grande número de estudos dedicados à sua geologia e depósitos minerais.

Figura 4: Mapa geológico simplificado do QF, extraído e adaptado de Alkmim & Marshak (1998).



A seção pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero está subdividida em quatro unidades litoestratigráficas, que são (da mais antiga para a mais nova): Complexo Metamórfico Arqueano, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi. Estas unidades interagem, diferencialmente, com o sistema hidrológico, em função dos diferentes tipos de rochas que as compõe, condicionando a capacidade de armazenamento, a direção e a velocidade dos fluxos de água subterrânea.

O Complexo Metamórfico Arqueano é representado pelo Complexo Metamórfico Bonfim que é composto por rochas predominantemente metamórficas e subordinadamente ígneas (CARNEIRO, 1992).

O Supergrupo Minas consiste numa espessa sequência de rochas de origem sedimentar, composta, da base para o topo, com notável continuidade lateral, por uma

sequência de quartzitos, filitos, itabiritos, dolomitos e quartzitos com filitos intercalados.

3.1.2. Contexto pedológico

De acordo com os estudos feitos pelo IBRAM (2003), a conformação do relevo regional expressa forte condicionamento geológico, tanto litológico quanto estrutural. O controle litoestrutural propicia a ocorrência de dois domínios geomorfológicos bem distintos na região: o domínio dos relevos serranos e o domínio de relevos dissecados.

O domínio dos relevos serranos é sustentado pelas estruturas do Sinclinal Moeda e Serra Três Irmãos, onde afloram, principalmente, as rochas do Supergrupo Minas. As altitudes situam-se, em geral, acima dos 1.000 metros, compondo uma morfologia de vertentes íngremes e declividades acentuadas. Neste domínio há o predomínio de classes de solos pouco evoluídos, tais como os Neossolos Litólicos, Cambissolos e presença de afloramentos rochosos (SOUZA, 2006).

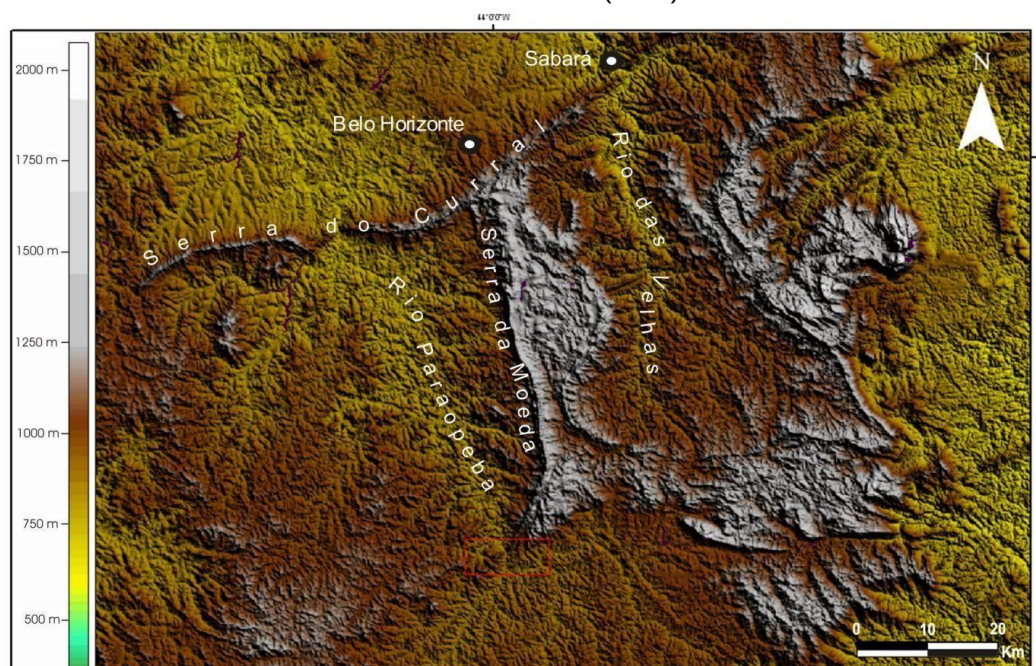
O domínio dos relevos dissecados se sustenta por rochas granito-gnáissicas do Complexo Bonfim. Trata-se, neste domínio, das porções mais rebaixadas do relevo com predomínio de colinas no padrão côncavo-convexo, vertentes ravinadas, vales encaixados e altitudes variando entre 620 e 900 metros. As classes de solos mais comuns são os Latossolos (topo) e os Argissolos (vertentes). Próximo aos cursos d'água, nos depósitos aluviais, ocorrem os Neossolos Flúvicos (IBRAM, 2003).

Na região de estudo do Pit Norte, é interessante salientar que após exaurida a lavra minerária na região, ficou exposto um solo roseado extremamente siltoso, com baixa agregação e bastante erodível.

3.1.3. Geomorfologia

O Quadrilátero Ferrífero constitui uma das regiões mais elevadas da porção centro-sudeste do estado de Minas Gerais. Sua morfologia é definida pelo contato, muitas vezes marcado por escarpas abruptas, de um conjunto de rochas nitidamente mais elevado em relação ao entorno. Tal morfologia parece ter tido forte influência das condições paleoclimáticas da região, que possibilitaram um processo de erosão diferencial entre rochas mais susceptíveis ao intemperismo nas superfícies inferiores – terrenos granito-gnáissicos – e aquelas das superfícies cimeiras que definem as bordas do QF – predominantemente quartzitos e itabiritos – mais resistentes aos processos erosivos (VARAJÃO, 1991).

Figura 5: Imagem SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) do Quadrilátero Ferrífero, com sombreamento de relevo. Fonte: VALE (2019).



O quadro geomorfológico da região permite uma divisão do QF em dois domínios; as terras baixas, que definem os terrenos granito-gnáissicos da superfície inferior, com cotas médias na faixa de 800-1000 m e as terras altas, com cotas entre 1000-2000 m, representadas predominantemente pelos metasedimentos do Supergrupo Minas nas superfícies cimeiras.

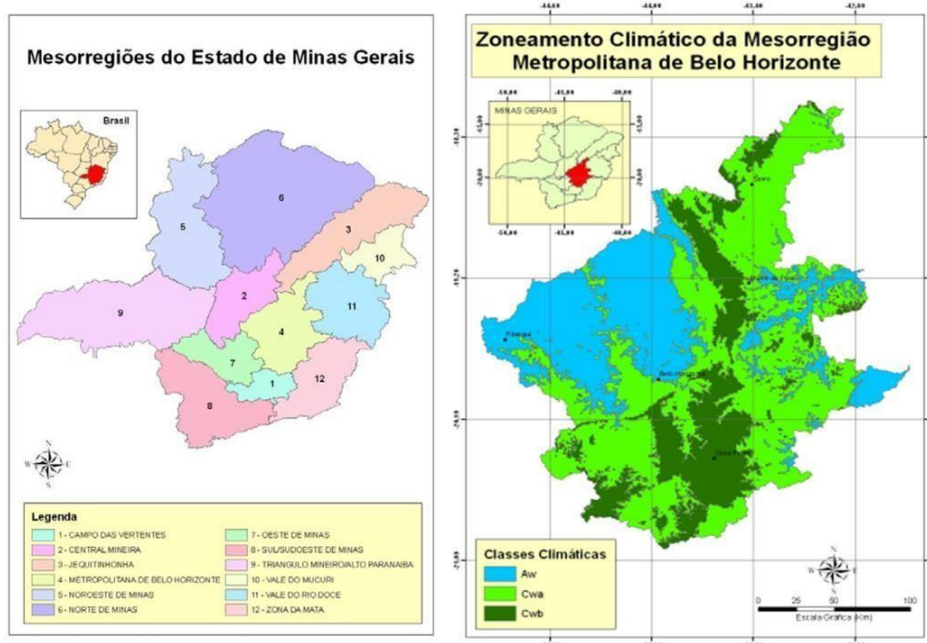
A mina da MIB está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. Localmente a Serra Três Irmãos, que é a denominação local para a continuação oeste da Serra do Curral, é o divisor de águas entre a bacia dos córregos Capão Grande, Campo Belo e Corredor a norte, e as bacias dos ribeirões Casa Branca e Ferro Carvão, a sul.

3.1.4. Clima

O clima dominante na região é subtropical úmido. Há muito menos pluviosidade no inverno que no verão, com pluviosidade média anual de 107,7mm. A estação de maior precipitação dura 5,3 meses, de 20 de outubro a 30 de março, com probabilidade acima de 37% de que um determinado dia tenha precipitação. O mês com maior número de dias com precipitação em Brumadinho é dezembro, com média de 15,6 dias com precipitação.

Sua temperatura média anual é de 20,8 °C, variando de 13,0 °C a 30°C. Fevereiro o mês mais quente do ano cuja temperatura máxima média é de 30°C. De acordo com a classificação climatológica de Köppen e Geiger, o município de Brumadinho (MG) enquadra-se como um Cwa, como visto na Figura 6 (quente com inverno seco e verão quente).

Figura 6: Divisão das mesorregiões de Minas Gerais (a) e zoneamento climático da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (b). Fonte: SÁ, 2009.



3.1.5. Hidrografia

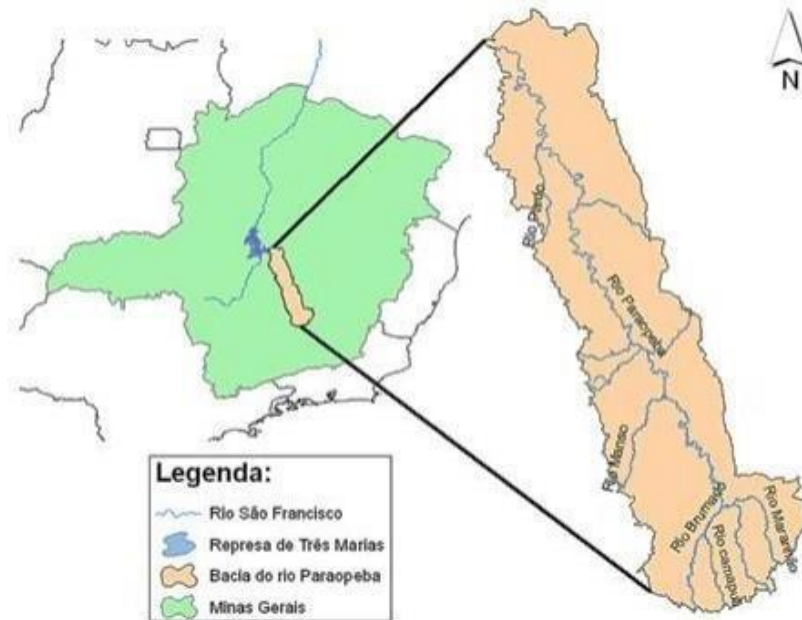
De acordo com Pereira et al. (2007), a sub-bacia do rio Paraopeba fica no Alto São Francisco e abrange uma área de drenagem de 13.642 km². Ela representa em torno de 2,2% da área do Estado de Minas Gerais, contribuindo com cerca de 9,1% do volume médio escoado na foz do rio São Francisco

Os principais afluentes do rio Paraopeba são os rios Maranhão e Betim e o ribeirão São João, pela margem direita; e os rios Camapuã, Manso e Pardo e os ribeirões Serra Azul e Florestal, pelo lado esquerdo, Figura 7 (Pinheiro e Naghettini, 2010). A bacia apresenta grande

diversidade nas atividades econômicas, englobando centros industriais e minerários, regiões urbanas mais densamente ocupadas, principalmente no alto curso, e regiões pouco ocupadas e destinadas às atividades agropecuárias no terço inferior do seu curso (SABINO et al., 2008).

Figura 7: Bacia do Rio Paraopeba.

Fonte: SILVA, B.M.B, SILVA, D. D. e MOREIRA, M.C. (2011).



Segundo Myr (2013), através do caráter litológico predominante, o comportamento hidrodinâmico e os tipos de permeabilidade são identificados diferentes aquícludes e aquíferos que caracterizam a hidrografia da região. Os aquícludes são representados pela predominância de rochas pelíticas e rochas intrusivas básicas. Enquanto os aquíferos podem ser divididos em duas categorias: aquíferos fissurados e aquíferos granulares/porosos.

3.2. ESTUDO HIDROLÓGICO

Para realização deste estudo hidrológico foi realizado o levantamento da série histórica de Postos Pluviométricos, localizados no Município de Brumadinho, com proximidade a área de estudo (Pit Norte) e a qual dispõe de acervo de dados maior que 15 anos.

Neste presente estudo, será apresentada a metodologia utilizada para realizar o estudo

hidrológico. Nele estão incluídos os processos usualmente adotados pelos projetistas, indicando critérios e os métodos de cálculo usuais, cuja larga aplicação permitiu o seu próprio aprimoramento. O estudo hidrológico desenvolveu-se, basicamente, nas seguintes fases:

- Coleta dos dados pluviométricos da área do projeto; os dados brutos de pluviometria foram obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA).
- Tratamento estático e correção de falhas das precipitações
- Determinação das precipitações para os Tempos de Retorno (Tr) de: 100 anos, 50 anos, 25 anos, 20 anos, 15 anos, 10 anos e 5 anos;
- Elaboração do Histograma de Precipitação;
- Elaboração das Curvas Precipitação x Duração x Frequência;
- Elaboração das Curvas Intensidade x Duração x Frequência;

3.2.1. Posto pluviométrico

Em uma análise preliminar dos dados, várias opções de dados foram consultadas, incluindo a estação pluviométrica da própria MIB, assim como as estações pluviométricas das minas vizinhas Córrego Feijão e Jangada. Entretanto, as estações não apresentavam um volume de dados estatisticamente relevante, com poucos anos de dados ou em outros casos não apresentavam os dados de chuva diários, condição necessária para análise pluviométrica.

Logo, deu-se início uma pesquisa para encontrar um posto pluviométrico que atendesse os critérios necessários para estudo. Atualmente existem 7 postos pluviométricos próximos à área de estudo que estão listados na Tabela 1, com suas respectivas coordenadas geográficas, obtidos do Banco de Dados Pluviométricos da ANA.

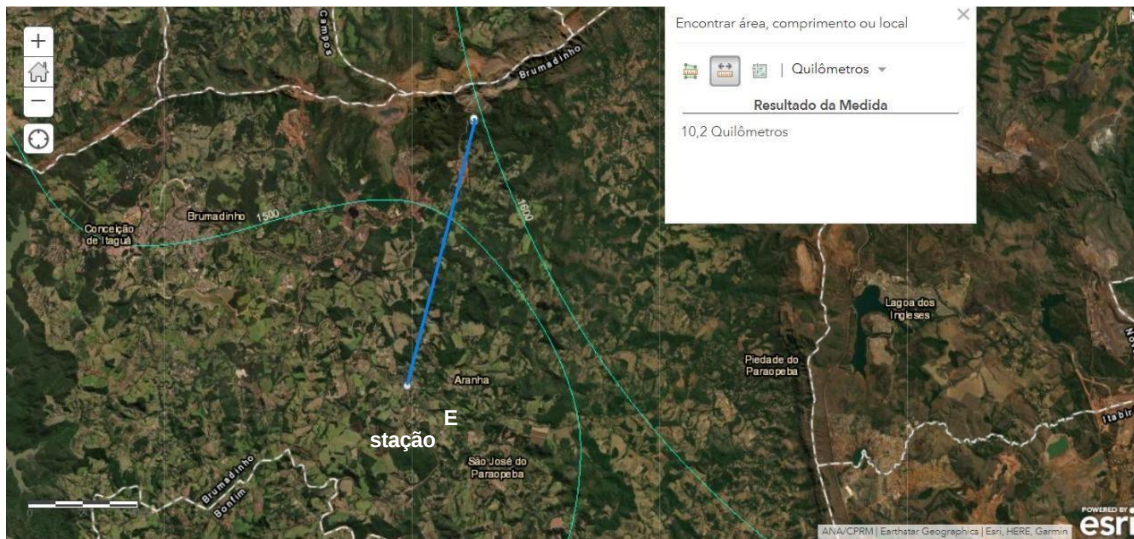
Tabela 1: Estações Pluviométricas da região com destaque em laranja para estação escolhida

Município	Código	Estação	Resp.	Lat.	Long.
BRUMADINHO	2044102	ALBERTO FLORES	ANA	-20,16	-44,17
BRUMADINHO	2044092	BRUMADINHO Córrego Feijão	CEMADEN	-20,14	-44,11
BRUMADINHO	2044090	BRUMADINHO Distrito Casa Branca	CEMADEN	-20,09	-44,05
BRUMADINHO	2044093	BRUMADINHO Alberto Flores	CEMADEN	-20,16	-44,15
BRUMADINHO	2044095	BRUMADINHO Aranha	CEMADEN	-20,20	-44,11
BRUMADINHO	2044008	MELO FRANCO	ANA	-20,20	-44,12
BRUMADINHO	2044102	ALBERTO FLORES	ANA	-20,16	-44,17

O posto escolhido para o estudo foi a estação Melo Franco (código 02044008), é o posto mais próximo da área de projeto, a uma distância de aproximadamente 10,2km como indicado

no mapa da Figura 8. Além da menor distância, observou-se que a esta estação possui registros pluviométricos de 1942 até 2019, totalizando 77 anos de dados registrados. A metodologia proposta por Gumbel, recomenda no mínimo 15 anos de dados, sendo assim compatível para o estudo.

Figura 8: Distância entre a estação Melo Franco e área de estudo.



3.2.2. Tratamento estático e correção de falhas das precipitações

Foi realizada uma análise de consistência dos dados, observando se os dados possuíam duplicatas, meses sem dados ou demais inconsistências e desta forma foram eliminados da análise 5 anos de dados devido à falta de informação ou dados inconsistentes. Desta forma, os anos de 1961, 1962, 1975, 1986 e 1990 foram retirados da análise estatística.

Após a correção dos dados obtidos restaram 73 anos que serão utilizados para análise hidrológica.

3.2.3. Elaboração do histograma de precipitação

Com os dados coletados a partir do posto pluviométrico (Anexo I), foi gerado o

histograma das máximas mensais das precipitações totais e das mínimas, elaborado a partir da série histórica do regime pluviométrico. Nos Gráfico 1, Gráfico 2, Gráfico 3 são apresentados os dados produzidos através desta análise.

Gráfico 1: Histograma de precipitações total mensal.

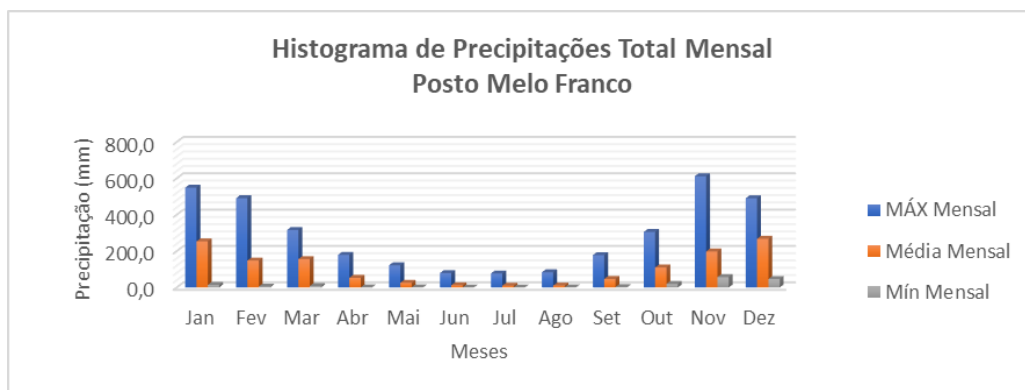


Gráfico 2: Histograma de precipitações diária.

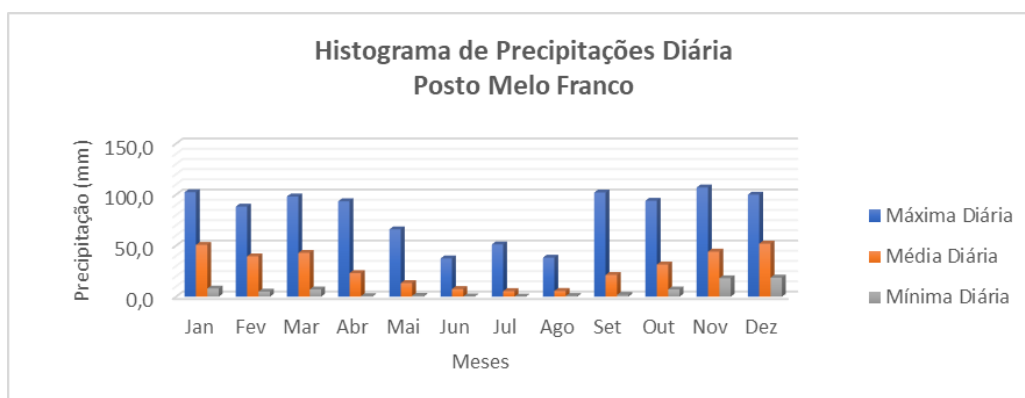
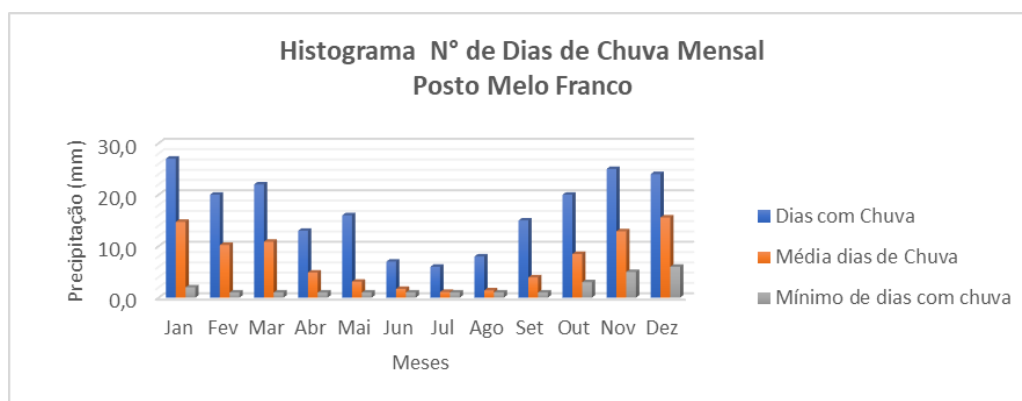


Gráfico 3: Histograma do número de dias de chuva mensal.



3.2.4. Método chow-gumble - determinação das precipitações para os tempos de retorno (tr)

Baseado na teoria dos extremos de amostras ocasionais, Gumbel demonstrou que, se

o número de vazões máximas anuais tende para infinito, a probabilidade “P” de uma dada descarga ser superada por um certo valor da variável aleatória é dada pela equação seguinte, para um número infinito de elementos:

$$P = e^{-e^{-y}}$$

Em que:

P = probabilidade de não ocorrerem descargas maiores;

e = base dos logaritmos neperianos;

y = variável reduzida (para TR = 25 anos, y = 3,1985. Para TR = 12,5 anos y = 2,4843).

Na prática, pode-se levar em conta o número real de anos de observação utilizando-se a fórmula devida a Ven Te Chow, que demonstrou que a maioria das funções de frequência, aplicáveis em Hidrologia, pode ser resolvida pela equação geral:

$$Q_{(t)} = \bar{Q} + \sigma K_{(t)}$$

Em que:

Q (t) = descarga máxima para o tempo de recorrência previsto;

Q = descarga média obtida da série disponível;

σ = desvio-padrão do universo;

K (t) = fator de frequência, que depende do número de amostras e do tempo de recorrência.

A descarga média é obtida pela expressão:

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q}{n}$$

Em que:

Q = descarga média;

ΣQ = somatório das descargas da série de máximas anuais;

n = número de anos de observação.

O desvio padrão é obtido por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Q - \bar{Q})^2}{n - 1}}$$

Em que:

Σ(Q-Q)² = somatório dos quadrados dos desvios da média.

O fator de frequência K_(t) pode ser determinado pela expressão:

$$K_{(t)} = \frac{y - y_n}{\sigma_n}$$

Em que:

y = variável reduzida;

y_n = média aritmética da variável reduzida, para uma amostra de n elementos extremos;

σ_n = desvio-padrão da variável reduzida.

De acordo com a equação Gumbel e considerando que o tempo de recorrência, TR, é o inverso da probabilidade P, a variável reduzida pode ser calculada pela expressão:

$$y = -L_n[L_n \cdot TR - L_n(TR - 1)]$$

Em que:

L_n = base dos logaritmos neperianos;

TR = tempo de recorrência.

A média aritmética da variável reduzida é determinada pela expressão:

$$y_n = \frac{\sum y}{n}$$

e o desvio-padrão:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum (y - y_n)^2}{n}}$$

A probabilidade, em percentagem, de não ser excedida uma dada descarga, e o tempo de recorrência correspondente em anos podem ser obtidos pelas expressões abaixo:

$$p = 100 \left(1 - \frac{m}{n+1} \right) \quad \text{e} \quad TR = \frac{100}{100 - p}$$

Em que:

m = número de ordem da série anual, organizada de forma decrescente.

O anexo II e Tabela 2 apresentam os resultados do estudo pelo método Chow e Glumble descrito acima.

Tabela 2: Resultados para os diferentes Tempos de Retorno para chuva de 1 dia, pelo método Chow- Gumble para o Posto Melo Franco.

Método Chow-Gumble							
N° de Amostras (n)	73						
Média da Precipitação Máxima (mm)	75,27						
Desvio Padrão da Precipitação máxima (σ_n)	15,24						
Tempo de Recorrência - Tr (anos)	5	10	15	20	25	50	100
Variável Reduzida (Y)	1,500	2,250	2,674	2,970	3,199	3,902	4,600
Fator k	1,04	1,79	2,21	2,51	2,73	3,44	4,14

Precipitação para 1 dia (mm) ($P=P_m+\sigma K$)	91,05	102,48	108,93	113,45	116,93	127,65	138,29
--	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

3.2.5. Elaboração das curvas precipitação x duração x frequência

Para obtenção das intensidades de chuvas de curta duração, em função de diversos tempos de recorrência, aplicaram-se procedimentos a seguir descritos:

- Primeiramente transformou-se as chuvas de 1 dia, para diferentes tempos de recorrência (T), em uma chuva de 24 horas, através da relação: $P(24h:T) / P(1 \text{ dia}: T) = 1,3$.
- Através do valor da chuva de 24 horas, para um dado T, é possível determinar as chuvas de mais curta duração através de relações médias entre precipitações de diferentes durações (Tabela 3), definidos por um estudo de chuvas intensas, efetuados pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento - DNOS (PFAFSTETTER, 1982).

Tabela 3: Cálculo das precipitações para diferentes durações.

Duração (horas)	Precipitação						
	TR 5	TR 10	TR 15	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
0,1	13,26	14,92	15,86	16,52	17,03	18,59	17,98
1	49,71	55,42	58,63	60,77	62,48	67,54	72,45
24	118,36	133,23	141,62	147,49	152,01	165,95	179,78

3.2.6. Método das isozonas

A necessidade de conhecimento das alturas de precipitação para tempos de duração inferiores a 24 horas e a baixa densidade de postos com pluviógrafos que possam proporcionar estes dados, obrigam a extrapolação desses postos até o local do projeto.

No estudo descrito anteriormente, foram calculadas para os postos analisados, as chuvas de um dia, nos tempos de recorrência previstos. O Método das Isozonas foi desenvolvido pelo Eng.º. José Torrico e está exposto em sua publicação Práticas Hidrológicas de 1974. Para este método, a chuva de um dia, em cada tempo de recorrência, é convertida em 24 horas, multiplicando-se estas pelo coeficiente 1,095 que é a relação 24 horas/1 dia.

A Figura 9 apresenta o mapa de isozonas para o Brasil e consoante a isso se determina

o valor para região em estudo na Tabela 4.

Figura 9: Isozonas para Brasil definidas no trabalho de Torrico 1974.

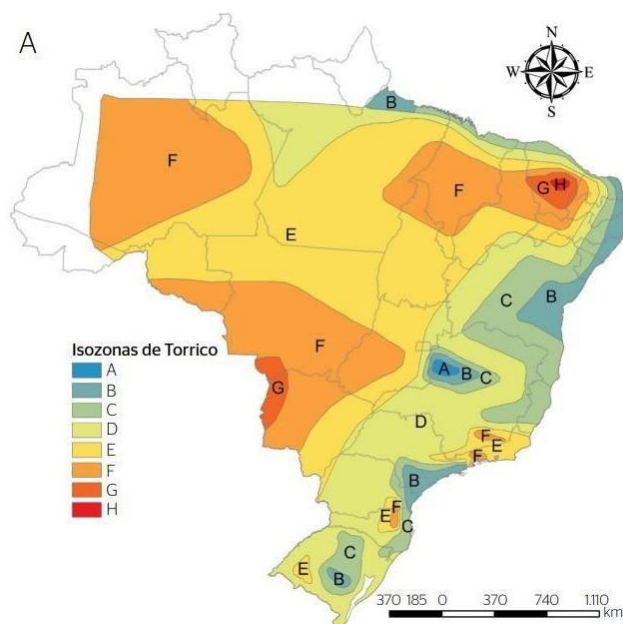


Tabela 4: Coeficientes de desagregação das chuvas associados as isozonas. Valores para isozona D em destaque, onde está localizado o Posto Melo Franco. Fonte: Torrico 1974.

Isozona	1h/24h chuva										6min/24h	
	TR (anos)										TR (anos)	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1.000	10.000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,4	37,2	36,0	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: Torrico, 1974.

Para determinação das precipitações correspondentes as demais durações, é necessário aplicar as equações indicadas na Tabela 5, que é dividida em duas faixas a primeira entre 6min e 60 min e outra entre 60min e 24h. Na Tabela 6 são apresentados os resultados dos cálculos.

Tabela 5: Fórmulas para cálculo da precipitação para demais durações.

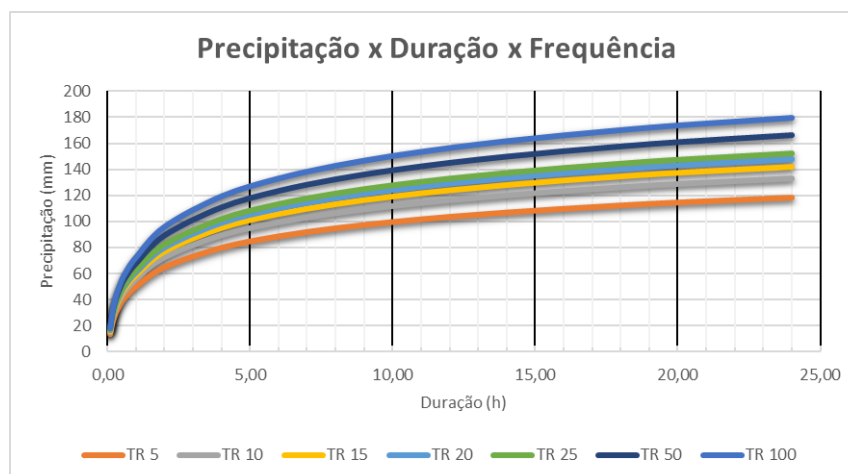
t - tempo de duração (horas)	Equação (P em mm; t em horas)
$0,1h \leq t \leq 1,0h$	$P = (P_{1h} - P_{6min}) * (1 + 0,106 * \text{Log}(t)) * (1 + \text{Log}(t)) + P_{6min}$
$1,0h \leq t \leq 24,0h$	$P = (P_{24h} - P_{1h}) * (0,535 + 0,139 * \text{Log}(t)) * (\text{Log}(t)) + P_{1h}$

Tabela 6: Resultados dos valores de precipitação para todas as durações e tempos de retorno.

Duração (minutos)	Precipitação							
	Duração (horas)	TR 5	TR 10	TR 15	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
6	0,10	13,26	14,92	15,86	16,52	17,03	18,59	17,98
10,8	0,18	21,83	24,44	25,92	26,92	27,71	30,10	30,79
18	0,30	29,69	33,17	35,14	36,46	37,51	40,65	42,53
30	0,50	37,92	42,33	44,80	46,46	47,78	51,71	54,84
36	0,60	40,96	45,70	48,36	50,14	51,56	55,78	59,37
48	0,80	45,84	51,12	54,09	56,07	57,65	62,34	66,67
60	1,00	49,71	55,42	58,63	60,77	62,48	67,54	72,45
120	2,00	64,73	72,45	76,79	79,74	82,07	89,07	95,93
240	4,00	79,75	89,47	94,94	98,72	101,66	110,60	119,42
360	6,00	88,54	99,43	105,57	109,82	113,12	123,20	133,15
480	8,00	94,77	106,49	113,10	117,69	121,25	132,13	142,90
600	10,00	99,61	111,98	118,95	123,80	127,55	139,07	150,46
720	12,00	103,56	116,45	123,72	128,79	132,71	144,73	156,64
840	14,00	106,90	120,24	127,76	133,01	137,06	149,52	161,86
960	16,00	109,80	123,52	131,26	136,67	140,84	153,67	166,38
1080	18,00	112,35	126,41	134,35	139,89	144,17	157,33	170,38
1200	20,00	114,63	129,00	137,11	142,77	147,15	160,60	173,94
1440	24,00	118,36	133,23	141,62	147,49	152,01	165,95	179,78

Com os dados da Tabela 6 é possível gerar o gráfico de Precipitação x Duração x Frequência, indicado no Gráfico 4.

Gráfico 4: Gráfico de Precipitação x Duração para os diferentes tempos de retorno estudados.



3.2.7. Elaboração das curvas intensidade x duração x frequência

Os valores das intensidades médias de precipitação foram obtidos a partir dos resultados das alturas de chuvas, pela utilização da seguinte relação:

$$i = \frac{P}{\Delta t}$$

i: Intensidade de precipitação, em mm/h;

P: Altura de precipitação, em mm;

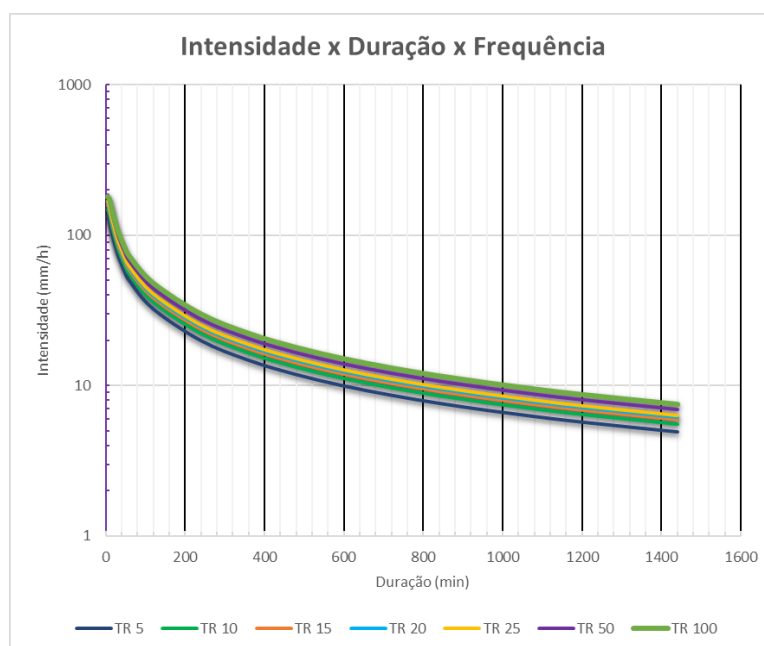
Δt : Tempo de duração, em horas.

No Tabela abaixo é apresentado as relações de Intensidade de Precipitação x Tempo de Duração para vários Tempo de Recorrência (Tr), e no Gráfico 5 apresenta os resultados.

Tabela 7: Resultados do cálculo das intensidades para todas as durações.

Duração (minutos)	Duração (horas)	Intensidade (mm/h)						
		TR 5	TR 10	TR 15	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
6	0,10	132,57	149,22	158,61	165,19	170,25	185,86	179,78
10,8	0,18	121,27	135,80	143,98	149,57	153,95	167,20	171,03
18	0,30	98,95	110,58	117,12	121,53	125,03	135,49	141,76
30	0,50	75,85	84,65	89,60	92,92	95,56	103,42	109,68
36	0,60	68,26	76,16	80,60	83,57	85,94	92,97	98,95
48	0,80	57,30	63,90	67,61	70,08	72,06	77,93	83,33
60	1,00	49,71	55,42	58,63	60,77	62,48	67,54	72,45
120	2,00	32,37	36,22	38,39	39,87	41,03	44,54	47,97
240	4,00	19,94	22,37	23,74	24,68	25,41	27,65	29,85
360	6,00	14,76	16,57	17,59	18,30	18,85	20,53	22,19
480	8,00	11,85	13,31	14,14	14,71	15,16	16,52	17,86
600	10,00	9,96	11,20	11,89	12,38	12,76	13,91	15,05
720	12,00	8,63	9,70	10,31	10,73	11,06	12,06	13,05
840	14,00	7,64	8,59	9,13	9,50	9,79	10,68	11,56
960	16,00	6,86	7,72	8,20	8,54	8,80	9,60	10,40
1080	18,00	6,24	7,02	7,46	7,77	8,01	8,74	9,47
1200	20,00	5,73	6,45	6,86	7,14	7,36	8,03	8,70
1440	24,00	4,93	5,55	5,90	6,15	6,33	6,91	7,49

Gráfico 5: Gráfico de Intensidade vs Duração para cada um dos tempos de retorno calculados.



3.2.8. Cálculo dos parâmetros IDF

É frequente o uso de dados de precipitação a fim de calcular a vazão de cheia para dimensionamento de obras hidráulicas. Para caracterização da precipitação é indispensável conhecer a sua intensidade, duração e frequência de ocorrência, também conhecida como período de retorno (DAMÉ, 2008). Com uma longa série de dados pluviográficos podem-se determinar as equações IDF (Intensidade-Duração- Frequência), relacionando aqueles parâmetros, que são utilizados para determinação da intensidade a ser utilizada em projetos.

A curva IDF é importante em projetos, pois a partir dela determina-se a precipitação que é a base de qualquer projeto de obras hidráulicas. A estimativa mais precisa de chuvas intensas é importante para que o projeto hidráulico seja viável de um ponto de vista técnico e econômico (MELLO et al., 2003).

Normalmente as curvas IDF são obtidas a partir de ajustes de uma função de probabilidade de eventos extremos realizado com os valores máximos de precipitação anual em escala subdiária obtidos de séries históricas (SCHARDONG, 2014).

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d}$$

Em que:



i é a intensidade máxima dada em mm/h,

T é o período de retorno em anos,

t é a duração do evento em min,

a , b , c e d são parâmetros a se determinar dependendo do local em que o posto está instalado.

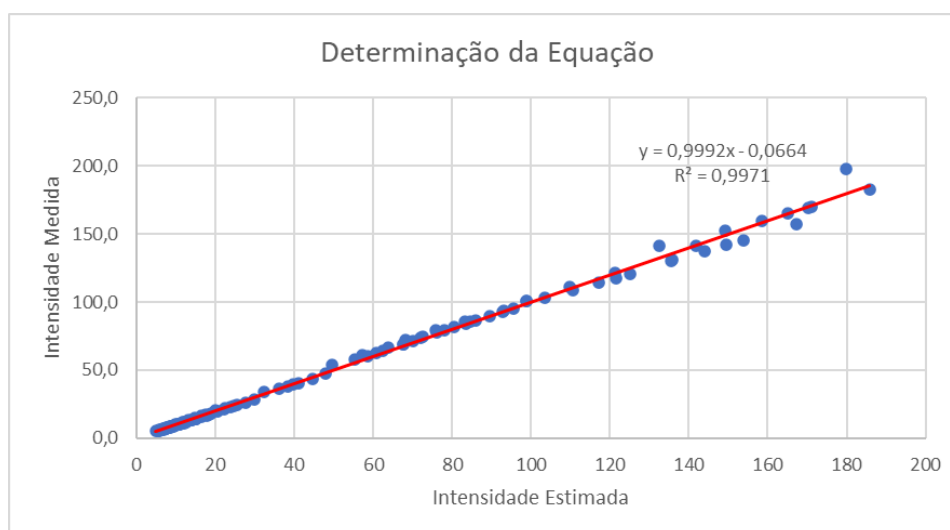
Foi possível minimizar os erros entre os valores reais observados e do estimado pela equação IDF, obtendo-se assim, uma precisão $R=0,9971$ (Anexo III e Gráfico 6).

Os parâmetros obtidos para posto Melo Franco estão indicados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados dos parâmetros IDF obtidos através do SOLVER

PARÂMETROS			
a	b	c	d
54,497	0,1124	0,282	0,8016

Gráfico 6: Equação de verificação da conformidade dos valores de IDF.



3.3. CÁLCULO DOS VOLUMES DESTINADOS AOS SUMPS

Para o cálculo dos volumes de escoamento destinados aos Sumps, foi utilizada precipitação em mm, calculada na Tabela 6, multiplicado pela área de contribuição de cada SUMP e pelo coeficiente de escoamento da bacia.

Este método consiste em calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo e é aplicável a bacias com área de drenagem inferior a 3,0 km².

$$V_{RO} = P \times A \times C$$

Em que:

(C) coeficiente adimensional de escoamento superficial de uma dada bacia de contribuição. Esse coeficiente depende das características geológicas e condições de uso e ocupação do solo da bacia de contribuição e permite determinar a chuva efetiva, ou seja, a parcela da chuva que se transformará em escoamento superficial (Tabela 12).

(A) área de drenagem da bacia de contribuição, em km²;

(VRO) vazão de escoamento, indicando o volume de água que escoar por run off em m³.

Tabela 9: Tabela com valores de referência para Coeficiente de Escoamento Superficial.

Declividade (%)	Solo Arenoso	Solo Franco	Solo Argiloso
Florestas			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,25	0,35	0,50
10 - 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,15	0,35	0,55
10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terras cultivadas			
0 - 5	0,30	0,50	0,60
5 - 10	0,40	0,60	0,70
10 - 30	0,50	0,70	0,80

Nesse estudo, segundo Tabela 9 foi adotado (C) igual a 0,4, para a região do Pit Norte devido a sua composição principal ser de material siltoso, considerando a inclinação média do terreno maior que 30° e cobertura do solo do parcialmente coberta por gramíneas.

3.3.1. Cálculo da vazão de projeto e dimensionamento dos vertedouros

Para o cálculo da vazão de projeto, foi utilizado Método Racional. Este método consiste em calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo e é aplicável a bacias com área de drenagem inferior a 3,0 km². É dado por:

$$Q_{proj} = 0,278.C.i.AD$$

Em que:

(C) coeficiente adimensional de escoamento superficial de uma dada bacia de contribuição.

(i) denota a intensidade da chuva de projeto, em mm/h. Salienta-se que o tempo de concentração é determinado pela fórmula de Kirpich, mas pela razão das bacias serem muito pequenas, adotou-se o tempo uniforme de 6 min para tempo de concentração em todos os casos, utilizando assim a intensidade de chuva igual 175,25mm/h;

(AD) área de drenagem da bacia de contribuição, em km²;

(Qproj) vazão de projeto de um dado dispositivo de drenagem, em m³/s.

A seguir, a Tabela 10 apresenta a memória de cálculo da vazão de projeto para qual os dispositivos de drenagem deverão ser dimensionados, considerando o tempo de recorrência determinado neste estudo.

Tabela 10: Cálculo da vazão de projeto considerando o tempo de recorrência 25 anos.

Identificação	Área de Contribuição AD (km²)	TR 25		
		Intensidade Chuva 6min i (mm/h)	Coefficiente de Run-off (C)	Vazão de Projeto Qproj (m³/s)
SUMP 1	0,00362753	170,25	0,4	0,07
SUMP 2	0,00630575	170,25	0,4	0,12
SUMP 3	0,00760052	170,25	0,4	0,14
SUMP 4	0,00710204	170,25	0,4	0,13
SUMP 5	0,00315456	170,25	0,4	0,06
SUMP 6	0,0009805	170,25	0,4	0,02
SUMP 7	0,00502235	170,25	0,4	0,10
SUMP 8	0,00811084	170,25	0,4	0,15
SUMP 9	0,00521321	170,25	0,4	0,10
SUMP 10A	0,007739	170,25	0,4	0,15
SUMP 10B	0,0017402	170,25	0,4	0,03
SUMP 11	0,00758463	170,25	0,4	0,14
SUMP 12	0,01326313	170,25	0,4	0,25
SUMP 13	0,01038903	170,25	0,4	0,20
SUMP 14	0,00418848	170,25	0,4	0,08
SUMP 15	0,00499904	170,25	0,4	0,09
SUMP 16	0,02753192	170,25	0,4	0,52
SUMP 17	0,00504715	170,25	0,4	0,10
SUMP 17 A	0,00504815	170,25	1,4	0,33
SUMP 18	0,00504915	170,25	2,4	0,57
SUMP 19	0,01444084	170,25	0,4	0,27
SUMP 20	0,00739909	170,25	0,4	0,14
SUMP 21	0,00128956	170,25	0,4	0,02

Utilizando dos resultados das vazões de projeto dos Sumps, foi elaborado o cálculo da geometria mínima recomendado para as estruturas escoarem as vazões recebidas durante as chuvas mais críticas. Para este cálculo, foi utilizada a equação para vertedouros retangulares denominada fórmula de Francis que é indicada para cargas que estejam variando de 0,25m a 0,8m, ela é mostrada na Figura 10.

Figura 10: Desenho esquemático do vertedouro retangular com indicação da fórmula de cálculo



$$Q = 1,84 \cdot L \cdot H^{3/2} \text{ onde:}$$

Q = vazão (m³/s)
L = largura da crista (m)
H = carga (m)

A seguir, a Tabela 11 apresenta a memória de cálculo dos vertedouros para qual os dispositivos de drenagem foram dimensionados, considerando os resultados obtidos para

as vazões de projeto. Cabe ressaltar, que nem todos os Sumps tem desague direto, sendo que nos Sumps 7, 8, 9, 10A, 14, 16 e 17 são direcionados a outros Sumps, desta forma a vazão máxima para estas estruturas deverá acrescentada a vazão de projeto calculada. É indicado em verde os Sumps que recebem água de outras estruturas e tiveram sua vazão de projeto alterada.

Como o objetivo de minimizar o carreamento de material e a erosão após o desague, é indicado que as cargas hidráulicas (H) dos vertedouros devam ser mais baixas possíveis. Desta forma, optou-se nos cálculos de utilizar a carga hidráulica de 25cm para obtenção da largura de projeto, entretanto, algumas estruturas possuem uma vazão elevada o que requer o aumento da carga hidráulica a fim de se obter uma largura de projeto exequível. É indicado em vermelho, também na Tabela 11, os Sumps que sofreram aumento da carga hidráulica máxima.

Tabela 11: Cálculo da largura recomendada para vertedouros retangulares, considerando a vazão de projeto obtida.

Identificação	Vazão de Projeto Qproj (m³/s)	Desague Direto?	Onde é direcionado?	Vazão máxima do SUMP Qproj (m³/s)	Altura máxima da lâmina de água do vertedouro Carga H (m)	Largura mínima calculada L (m)	Largura Recomendada L (cm)
SUMP 1	0,07	sim	-	0,07	0,25	0,30	30,0
SUMP 2	0,12	sim	-	0,12	0,25	0,52	50,0
SUMP 3	0,14	sim	-	0,24	0,25	1,04	100,0
SUMP 4	0,13	sim	-	0,13	0,25	0,58	60,0
SUMP 5	0,06	sim	-	0,06	0,25	0,26	30,0
SUMP 6	0,02	sim	-	0,02	0,25	0,08	30,0
SUMP 7	0,10	não	3	0,10	0,25	0,41	45,0
SUMP 8	0,15	não	11	0,15	0,25	0,67	70,0
SUMP 9	0,10	não	11	0,10	0,25	0,43	45,0
SUMP 10 ^a	0,15	não	10B	0,15	0,25	0,64	65,0
SUMP 10B	0,03	sim	-	0,18	0,25	0,78	80,0
SUMP 11	0,14	sim	-	0,40	0,35	1,04	105,0
SUMP 12	0,25	sim	-	0,25	0,25	1,09	110,0
SUMP 13	0,20	sim	-	0,20	0,25	0,86	90,0
SUMP 14	0,08	não	15	0,08	0,25	0,34	35,0
SUMP 15	0,09	sim	-	0,17	0,25	0,76	75,0
SUMP 16	0,52	não	17	0,52	0,4	1,12	115,0
SUMP 17	0,10	não	17A	0,62	0,4	1,33	135,0
SUMP 17 A	0,33	sim	-	0,95	0,5	1,46	150,0
SUMP 18	0,57	sim	-	0,57	0,4	1,23	130,0
SUMP 19	0,27	sim	-	0,27	0,35	0,72	75,0
SUMP 20	0,14	não	21	0,14	0,25	0,61	60,0
SUMP 21	0,02	sim	-	0,16	0,25	0,72	80,0

3.3.2. Cálculo da vida útil dos sumps

A determinação de volumes para a retenção de sedimentos é feita no dimensionamento das estruturas específicas de diques de contenção de sedimentos, implantados a jusante de pilhas de estéril e de áreas com atividades de mineração. As bacias de retenção de sedimentos devem ser dimensionadas com um volume suficiente para acumular o aporte de descarga sólida, em um horizonte de vida útil pré-definido para a obra. No entanto, os diques de sedimentos podem ser de grande porte, dimensionados com

volumes suficientes para operação durante toda a vida útil de um empreendimento de mineração, ou então de pequeno porte, que exigem manutenção periódica de limpeza e desassoreamento.

As taxas de geração de sedimentos das bacias de contribuição das estruturas de contenção do Pit Norte foram adotadas de acordo com os parâmetros estabelecidos em estudos e trabalhos prévios. A Tabela 12 apresenta as taxas de geração específica de sedimentos para diferentes tipologias. Para este estudo, será utilizada para toda a área de estudo a taxa de geração de sedimentos mais elevada de $600\text{m}^3/\text{ha.ano}$, pois o material presente no local é extremamente fino, baixo peso específico e bastante desagregado. Apesar de parte da área não conter estéril, essa premissa visa trabalhar com cenário mais crítico para as estruturas analisadas.

Tabela 12: Taxas de geração específica de sedimentos.

Tipologia da área	Taxa de geração de sedimentos $\text{m}^3/\text{ha.ano}$
Floresta Densa	30
Pastagens pobres	100
Solo exposto	300
Pilha de Estéril	600

As bacias de contenção de sedimentos formam reservatórios que atuam de forma concentrada ou distribuída nas áreas dos empreendimentos de mineração, impedindo que o material sólido alcance os cursos de água naturais, assim sua principal função não é regularizar a vazão de chuvas, mas sim reter os sedimentos erodidos pelo run-off.

Com base nos volumes das bacias de decantação construídas no Pit Norte e na taxa de geração de sedimentos, foi possível calcular a estimativa da vida útil das bacias de decantação escavadas, conforme apresentado no Anexo V. Este cálculo apresenta o tempo aproximado em dias que a bacia de sedimentação levará para ficar completamente cheia de sedimentos.

3.4. ANÁLISE ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

A análise da topografia é uma etapa fundamental para a compreensão hidrológica do local analisado. Pode-se delimitar bacias hidrográficas e compreender o traçado da sua rede de drenagem, além da influência exercida pela topografia entre tantos outros processos físicos que ocorrem na bacia hidrográfica, como infiltração, escoamento superficial, tempo de concentração, entre outros (ENDRENY et al., 2000).



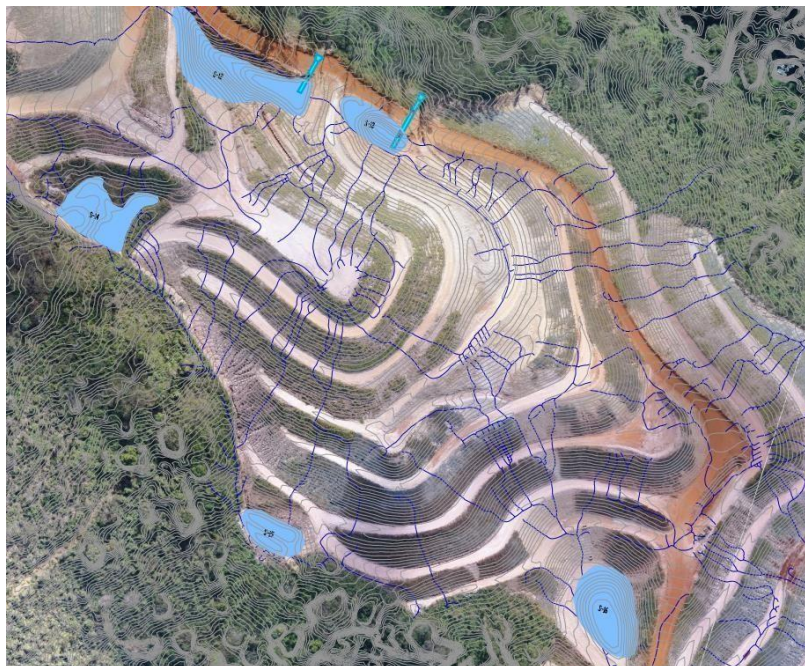
No processo de delimitação dos canais de drenagens em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são utilizadas informações de relevo, que podem ser representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada Modelo Numérico de Terreno (MNT), que pode ser obtido por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou através de sensores remotos (ALVES SOBRINHO et al., 2010).

O uso de MNT, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE), tem se difundido como superfície base para estudos em diversas áreas da ciência e em grande parte para análises ambientais. Os MDE simulam o relevo e as cotas altimétricas, e podem ser obtidos por processos fotogramétricos, cartas topográficas e mais atualmente através de imagens de drones (FERNANDES et al, 2012).

3.4.1. Análise do sistema de drenagem

Utilizando como base de análise o levantamento topográfico realizado de julho de 2022 pela MIB, foi modelado o MDE gerando as linhas de drenagem da área de estudo do Pit Norte. O resultado da análise (Figura 11) foi comparada com o projeto de drenagem existente e permitindo verificar os pontos de atenção e possíveis correções no direcionamento da drenagem. Assim, são apresentados os principais pontos de atenção para o sistema de drenagem, apontando-se dessa forma, onde a modelagem do fluxo de drenagem natural se mostrou discordante com a drenagens construída na encosta e assim existem chance de falha no direcionamento do fluxo de drenagem.

Figura 11: Detalhe da parte média da encosta com modelagem no QGIS com indicação das micro drenagens obtidas.



3.4.2. Análise da declividade

A erosão consiste no processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, constituindo-se na principal causa da degradação dos solos trazendo, como consequência, prejuízos ao meio ambiente.

Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de acarretar o empobrecimento gradativo dos solos, gera a elevação do custo de recuperação.

Na erosão hídrica, a desagregação das partículas de solo na superfície é uma ação provocada pela energia de impacto das gotas da chuva e pela força cisalhante do escoamento superficial. O domínio da energia de impacto das gotas da chuva ou do escoamento superficial no desprendimento e transporte de sedimentos, depende se a erosão ocorre em sulcos ou em áreas entre sulcos.

Foster (1982) caracteriza a erosão em sulcos quando se tem a formação de sulco com uma profundidade máxima de 300 mm. Nas áreas de ocorrência da erosão em sulcos, há domínio da ação erosiva decorrente da energia associada ao escoamento. A erosão entre sulcos é, às vezes, referida como erosão laminar; este processo promove a remoção de finas camadas de solo, da superfície do solo, uma após a outra, e a erosão não é claramente



evidenciada por simples inspeção visual. Na erosão entre sulcos, os mecanismos de impacto das gotas da chuva na superfície do solo e o escoamento superficial são, conjuntamente, os responsáveis pelo desprendimento e transporte de sedimentos.

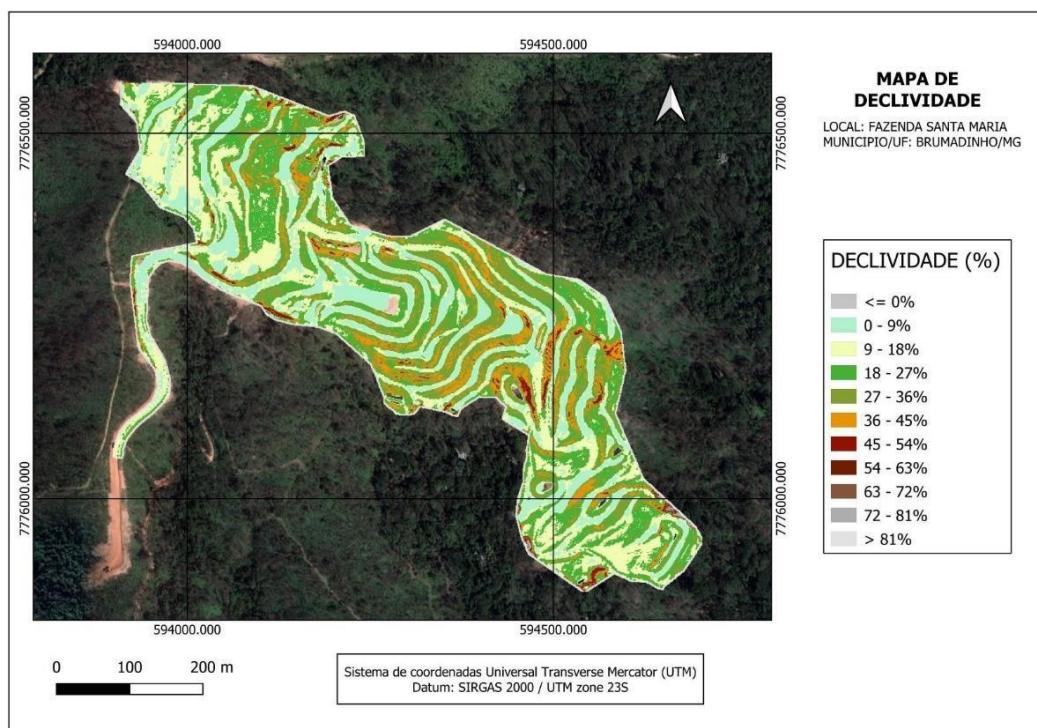
A erosão entre sulcos é um processo complexo e a intensidade com que ela ocorre depende, basicamente, de três fatores: das características da chuva, das características do solo e das características da superfície do solo (Watson & Laflen, 1986).

A erosividade da chuva, a qual representa a capacidade potencial da chuva em provocar o processo de erosão do solo, tem sido usualmente expressa como uma função potencial da intensidade de precipitação (Meyer & Wischmeier, 1969).

Pouca importância tem sido dada ao efeito da declividade da superfície do solo na erosão em áreas entre sulcos, sendo prática comum relacionar-se a taxa de erosão para estas áreas, no entanto, Watson & Laflen (1986) constataram que o aumento da declividade da superfície do solo aumenta a erosão nas áreas entre sulcos, embora não seja com o mesmo grau em que ocorre na erosão em sulcos.

Com base no enfoque exposto acima, neste estudo foi gerado também o mapa de declividades do Pit Norte (Figura 12), este mapa nos apresenta através de uma escala de cores quais são as declividades da região. Com essa importante análise, é possível verificar quais regiões deverão ser foco de maior atenção durante o período de chuva, pois concentram maior potencial de carreamento de sedimentos.

Figura 12: Mapa da declividade do PIT Norte, com atenção aos pontos de maior potencial erosivo



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma análise prévia do local degradado é importante para avaliar as condições da região, abrangendo os dados históricos e sua evolução. É possível obter um projeto bem-sucedido de drenagem e recuperação através do conhecimento do local e a forma como a ação antrópica ou natural modifica a paisagem atual.

Tendo assim como objetivo analisar os resultados e identificar pontos que possam auxiliar a otimização do controle e manutenção das drenagens do Pit Norte.

4.1. VERTEDOUROS

Os vertedouros dos Sumps foram calculados considerando que eles se encontram cheios e a área será atingida por uma chuva com uma intensidade de 170,25mm/h representando um Tempo de Retorno (TR) de 25 anos e um tempo de concentração de 6min. Os Sumps foram dimensionados com geometria retangular e com a menor lâmina de água possível (25cm). Cabe ressaltar que algumas das bacias de retenção de sedimentos possuem seu deságue dentro do próprio sistema e desta forma foi necessário somar as vazões calculadas nestes casos, a Tabela 13, apresenta as estruturas que tiveram as vazões máximas elevadas por estes direcionamentos.

Tabela 13: Lista de Sumps com vazão máxima aumentada, devido ao deságue de outros Sumps

Identificação	Vazão de Projeto Qproj (m³/s)	Sumps que desaguam nesta estrutura	Vazão máxima do SUMP Qproj (m³/s)
SUMP 3	0,14	Sump 7	0,24
SUMP 10B	0,03	Sump 10A	0,18
SUMP 11	0,14	Sumps 8 e 9	0,4
SUMP 17 A	0,33	Sumps 16 e 17	0,95
SUMP 21	0,02	Sump 20	0,16

Para a condição de carga mínima do vertedouro, foi possível dimensionar a largura recomendada para 17 Sumps, identificados na Tabela 14. Para seis casos identificados na Tabela 15, por conta do excesso de vazão e para permitir uma largura (L) do vertedouro que pudesse ser exequível, foi necessário aumentar a carga hidráulica máxima da estrutura.

Desta forma, para dimensionamento do Sump 17A, a altura máxima da carga hidráulica utilizada foi de 50cm, obtendo uma largura do seu vertedouro de 150cm. Com isso, espera-se que toda vazão conduzida aos Sumps possa ser corretamente direcionada ao deságua final. Cabe indicar que como a carga hidráulica das estruturas indicadas na Tabela 15, foram elevadas, seus dissipadores de energia final, devem também ser mais robustos a fim de estarem aptos a reduzir a energia da água de maneira satisfatória.

Tabela 14: Identificação dos Sumps dimensionados com carga mínima de 25cm

Identificação	Vazão máxima do SUMP Qproj (m³/s)	Altura máxima da lâmina de água do vertedouro (m)	Largura mínima calculada (m)	Largura Recomendada (cm)
SUMP 1	0,07	0,25	0,3	30
SUMP 2	0,12	0,25	0,52	50
SUMP 3	0,24	0,25	1,04	100
SUMP 4	0,13	0,25	0,58	60
SUMP 5	0,06	0,25	0,26	30
SUMP 6	0,02	0,25	0,08	30
SUMP 7	0,1	0,25	0,41	45
SUMP 8	0,15	0,25	0,67	70
SUMP 9	0,1	0,25	0,43	45
SUMP 10A	0,15	0,25	0,64	65
SUMP 10B	0,18	0,25	0,78	80
SUMP 12	0,25	0,25	1,09	110
SUMP 13	0,2	0,25	0,86	90
SUMP 14	0,08	0,25	0,34	35
SUMP 15	0,17	0,25	0,76	75
SUMP 20	0,14	0,25	0,61	60
SUMP 21	0,16	0,25	0,72	80

Tabela 15: Identificação dos Sumps dimensionados com carga mínima maior que 25cm.

Identificação	Vazão máxima do SUMP Qproj (m ³ /s)	Altura máxima da lâmina de água do vertedouro (m)	Largura mínima calculada (m)	Largura Recomendada (cm)
SUMP 11	0,4	0,35	1,04	105
SUMP 16	0,52	0,4	1,12	115
SUMP 17	0,62	0,4	1,33	135
SUMP 17 A	0,95	0,5	1,46	150
SUMP 18	0,57	0,4	1,23	130
SUMP 19	0,27	0,35	0,72	75

4.2. VIDA ÚTIL DOS SUMPS

O cálculo para se determinar a vida útil dos Sumps do Pit Norte, utilizou como base a informação do volume de cada uma das estruturas, que foi dividido pelo quantitativo total de sedimentos gerado na área de drenagem de cada Sump. Com este cálculo, foi possível obter uma previsão do tempo aproximado que cada uma das estruturas precisaria para serem preenchidas por sedimentos. Os resultados do estudo mostraram 16 bacias com volumes suficientes para conter os sedimentos por mais de 1 ano (Tabela 16), as demais 7 estruturas apresentaram um tempo mais curto de vida útil (Tabela 17). Algumas ponderações sobre os resultados devem ser indicadas:

- Os Sumps 6 e 14 apesar de não serem muito grandes, possuem área de drenagem muito pequenas e por este motivo tiveram uma vida útil muito longa, com respectivamente 13,5 e 6,9 anos;
- Os Sumps 17 e 21 tiveram, dentro todos, os maiores tempos de retenção. Isto se deve, pois, as áreas de bacia de drenagem são pequenas e seus volumes são grandes, entretanto, como recebem diretamente a vazão de outros Sumps (respectivamente Sump 16 e Sump 20), estes poderão receber também sedimentos dos Sumps a montante e por isso devem estar sob observação quanto ao volume de material retido.
- Os Sumps 7, 8 e 9 obtiveram os menores tempos de vida útil, pois possuem volumes muito pequenos. Todos se localizam na parte central da parte Alta do Pit Norte, local onde se concentra parte do fluxo e devem, se possível, ser aumentados para que possam ter maior capacidade. Caso contrário no período de chuvas mais fortes é possível que eles atinjam o limite de receptação de sedimentos e gerem problemas na drenagem da região alta, ocasionando problemas para as partes mais baixas.

Tabela 16: Listagem dos Sumps com vida útil maior que 1 ano.

Identificação	Volume Estimado do SUMP (m³)	Área de Contribuição de Sedimentos (ha)	Cobertura do Solo	Quantidade de Sedimentos (m³/ano)	Quantidade de Sedimentos (m³/dia)	Capacidade de Contenção de Sedimentos (dias)	Capacidade de Contenção de Sedimentos (ano)
SUMP 1	422,4	0,3416	Pilha de Estéril	205	0,56	752	2,1
SUMP 5	391,2	0,2959	Pilha de Estéril	177,5	0,49	804	2,2
SUMP 6	439,1	0,0541	Pilha de Estéril	32,5	0,09	4933	13,5
SUMP 10B	352,1	0,1545	Pilha de Estéril	92,7	0,25	1387	3,8
SUMP 11	832,8	0,7122	Pilha de Estéril	427,3	1,17	711	1,9
SUMP 12	3859,4	1,1977	Pilha de Estéril	718,6	1,97	1960	5,4
SUMP 13	1105,9	0,9947	Pilha de Estéril	596,8	1,64	676	1,9
SUMP 14	1417,2	0,3401	Pilha de Estéril	204,1	0,56	2535	6,9
SUMP 15	588	0,4607	Pilha de Estéril	276,4	0,76	776	2,1
SUMP 16	2415	2,6566	Pilha de Estéril	1594	4,37	553	1,5
SUMP 17	3837,7	0,3768	Pilha de Estéril	226,1	0,62	6196	17
SUMP 17 A	394,4	0,4785	Pilha de Estéril	287,1	0,79	501	1,4
SUMP 18	878	0,4724	Pilha de Estéril	283,4	0,78	1131	3,1
SUMP 19	2896	1,3282	Pilha de Estéril	796,9	2,18	1326	3,6
SUMP 20	1105,2	0,6957	Pilha de Estéril	417,4	1,14	966	2,6
SUMP 21	1291,2	0,0644	Pilha de Estéril	38,6	0,11	12198	33,4

Tabela 17: Listagem dos Sumps com vida útil menor que 1 ano.

Identificação	Volume Estimado do SUMP (m³)	Área de Contribuição de Sedimentos (ha)	Cobertura do Solo	Quantidade de Sedimentos (m³/ano)	Quantidade de Sedimentos (m³/dia)	Capacidade de Contenção de Sedimentos (dias)	Capacidade de Contenção de Sedimentos (ano)
SUMP 2	183,9	0,6183	Pilha de Estéril	371	1,02	181	0,5
SUMP 3	311,2	0,7318	Pilha de Estéril	439,1	1,2	259	0,7
SUMP 4	337,6	0,6891	Pilha de Estéril	413,5	1,13	298	0,8
SUMP 7	53	0,4969	Pilha de Estéril	298,2	0,82	65	0,2
SUMP 8	68,9	0,8053	Pilha de Estéril	483,2	1,32	52	0,1
SUMP 9	76,8	0,5136	Pilha de Estéril	308,2	0,84	91	0,2
SUMP 10A	357,5	0,7501	Pilha de Estéril	450	1,23	290	0,8

4.3. MODELAGEM SIG DA DRENAGEM

A modelagem elaborada no software QGIS utilizando a topografia mais recente, realizada pelo setor do Meio Ambiente da MIB, nos mostra alguns pontos de atenção, pois, caso o fluxo de água seja muito grande e as canaletas e direcionamentos das drenagens não estiverem bem executadas, em bom estado de conservação, estes pontos indicados nas Figura 13, Figura 14 e Figura 15, poderão se tornar pontos de fragilidade e erosão acentuada, como já ocorreu no passado nos taludes a jusante do Sump 16.

Figura 14: Linhas de Fluxo ligando os Sumps 7, 8 e 9.



Figura 13: Linhas de Fluxo na parte média do Pit Norte, a montante do Sump 16.



Figura 15: Linhas de fluxo da área de drenagem do Sump 17 A.



4.4. DECLIVIDADE

Na análise do mapa de declividade é importante salientar que algumas anomalias podem ocorrer, principalmente devido a declividade das paredes dos Sumps e quando existe alguma vegetação, como árvores ou arbustos presentes no levantamento topográfico.

Estes casos podem ocasionar erros na interpretação da declividade local. Tais anomalias são marcadas a título de exemplo na Figura 16, assim como também são indicados os pontos de atenção e controle identificados na parte alta do Pit Norte são marcados na Figura 17.

Figura 17: A esquerda, mapa de declividade da parte alta, com indicação dos pontos de atenção: A) Declividade alta devido a presença de árvores e arbustos; B) Alta declividade devida à parede do Sump 14. Adireita a imagem de satélite para comparação ao mapa de declividade dos pontos A e B.

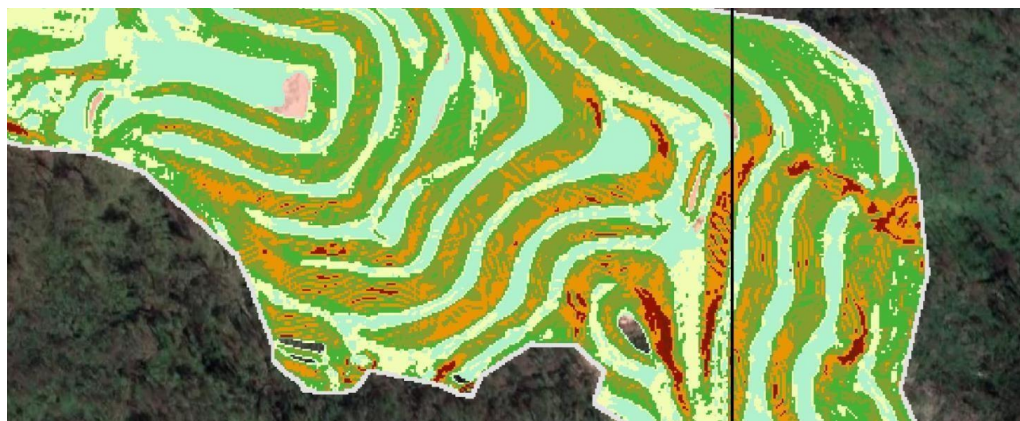


Figura 16: Imagem de satélite dos pontos C e D que apresentaram declividade acentuada.



Na Figura 18, podemos perceber que a região média da encosta apresenta a área com as maiores declividades de encostas e rampas, indicando assim que esta região deve ser a região com maiores velocidades, volume de água e com maior quantidade de sedimentos. Essa região abrange as áreas de drenagem do Sump 15, Sump 16 e 17A, e desta forma devem ser alvo de atenção especial nas épocas de chuva, manutenção constante das suas drenagens e alvo preferencial para revegetação.

Figura 18: Região média da encosta onde há presença de maiores declividades de encostas e rampas, indicando que é uma região com maiores velocidades



4.5. RECOMENDAÇÕES

Com o objetivo de recuperar a área degradada, algumas medidas de remediação poderão evitar o aumento da erosão laminar na área minerada em estudo e, por conseguinte, minimizar os processos erosivos do solo na microbacia.

Segundo a NBR 13030, a recuperação da área para usos futuros deve contar com: estabilidade, o controle de erosão e drenagem, adequação paisagística e revegetação com predomínio de espécies nativas locais.

4.5.1. Pontos de desague

Pode-se considerar as estruturas de dissipação de energia, como parte dos dispositivos do sistema de drenagem. A ausência, a escolha inadequada de dissipadores de energia poderá trazer problemas de erosão significativos, que se poderão manifestar em algumas zonas críticas da drenagem. A erosão dos solos justifica a importância da dissipação de energia, uma vez que este fenômeno é uma consequência da falta ou ineficiência de dispositivos de dissipação de energia.

Pensando em minimizar os pontos de erosão e o carreamento de sedimentos para os córregos da região, a seguir são sugeridos dois tipos de dissipadores como alternativas para confecção para os deságues do Pit Norte.

4.5.2. Dissipador de energia

As rampas com blocos (Figura 19 e Figura 20) são utilizadas na dissipação de energia do escoamento na drenagem longitudinal e a jusante de uma passagem hidráulica, quando se pretende vencer grandes desníveis, ou seja, em situações em que existe uma grande diferença de cotas entre a saída do canal ou da conduta e o canal de restituição. Este dissipador poderá ser aplicado a jusante de uma passagem hidráulica, mas não deverá ser responsável pela redução da velocidade do escoamento imediatamente à saída desta.

Estas estruturas com macrorrugosidades têm sido adotadas com muita frequência em diversos sistemas de drenagem de águas pluviais (Ramos, 2005).

De acordo com Thompson, et al. (2006) a rampa deve ter declive inferior a 1:2, mas por outro lado, superior a 1:4. Pela simplicidade construtiva, este equipamento poderá ser construído com pedras de mão e poderá ser utilizado em ocasiões em que é necessário vencer um desnível até a lançamento e desague das águas e deverá funcionar como um equipamento auxiliar na dissipação de energia.

Figura 19: Dissipador de Rampa dentada. Fonte: Baptista (2010).

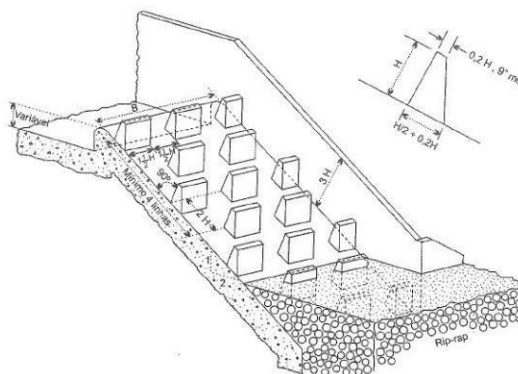


Figura 20: Exemplo de uma estrutura com macrorrugosidades – Rampa com blocos (extraído de USDA, 1981).



4.5.3. Tapete de enrocamento

O tapete de enrocamento baseia-se no princípio de adoção de blocos de pedra natural, numa superfície plana.

Pode ser usado em canais de drenagem, à saída de passagens hidráulicas até mesmo a jusante de dissipadores de energia, quando necessário. Para a sua utilização é necessário ter em consideração a topografia do local, a velocidade do escoamento e a dimensão do aqueduto a montante. Em canais de drenagem a proteção com enrocamento é usada como revestimento, constituindo uma superfície rugosa que protege o terreno natural do contacto direto com o escoamento. À saída de passagens hidráulicas, a proteção com enrocamento é frequentemente utilizada quando a velocidade do escoamento à saída é inferior a 4,5 m/s e o diâmetro do aqueduto é inferior ou igual a 1,5 m, pois nestas situações esta solução é mais económica do que a construção de outras estruturas de dissipação de energia (Martins, 2000).

Uma alternativa também muito utilizada e cada vez mais comum é utilização de uma tecnologia denominada de colchão de gabião, que é são elementos prismáticos retangulares, confeccionados com malha hexagonal produzida com arames de aço e revestidos por um polímero, desenvolvido para obras de engenharia. São estruturas com elevada flexibilidade e permeabilidade, especialmente indicadas na construção de revestimento para canais, barragens de solo, escada dissipadoras e outros. Podem ser combinados com revestimentos feitos com mantas orgânicas e com estacas vivas, de acordo com o efeito pretendido.

Figura 21: A esquerda tapete de enrocamento à saída de uma passagem hidráulica (extraído de FEMA, 2010). A direita utilização do tipo colchão gabião. Fonte: Deflor Engenharia.



4.5.4. Recomendações sobre as drenagens do pit norte

Recomendação 01 (PA-01): Neste ponto devido à grande curvatura da estrada (Figura 22), a drenagem terá a tendência de atravessar a pista quando estiver com maior velocidade,

como mostrado pelas linhas fluxo azuis obtidas na simulação do Software QGIS, neste caso, para diminuir a velocidade do fluxo de água, é indicado a colocação de uma canaleta seguida de uma caixa de passagem para diminuir a velocidade da água e direcionar seu fluxo para o SUMP 03 mais a diante, minimizando riscos do fluxo de água seja.

Figura 22: Detalhe do Plano de Ação 01.



Recomendação 02: Aumentar o Sump 17A para que possa reter sedimentos e possa controlar a descarga do fluxo de forma mais lenta, com instalação de bacia dissipador robusta na saída;

Recomendação 03: Realizar teste nas canaletas construídas, principalmente na ligação do Sump16 ao Sump 17, para verificar sua funcionalidade. Indicação de realização de teste com caminhão pipa jogando água sobre elas e se possível gravar o teste;

Recomendação 04: Intensificar a recuperação vegetal nas encostas do Pit Norte, visando diminuir o grau de carreamento de material solto, inclusive das bermas que estejam desprotegidas. A região média do Pit Norte, deve ser alvo preferencial para recuperação vegetal pois é a região com maior declividade. Por se tratar de uma área degradada e com solo com maior porcentagem silte e poucos nutrientes, é necessário restabelecer a fertilidade do solo com possível correção de acidez, correção por adubação orgânica e nutrientes para favorecer a regeneração vegetal.

Recomendação 05: Por se tratar de uma região de alta declividade, todos os pontos de deságue após os Sumps, indicados no projeto, deverão seguir as orientações contidas neste estudo. É necessário especial atenção ao ponto de deságue do Sump 17A, por ser



um ponto com maior vazão prevista e por tanto, maiores probabilidade de gerar erosões em sua saída.

Recomendação 06: Aumentar volume dos Sumps 7, 8 e 9, para aumentar a vida útil para recebimento de sedimentos.

Recomendação 07: Estabelecer medidas de captação da água e monitoramento dos córregos perenes adjacentes à área degradada para análise periódica dos índices de qualidade da água, tais como parâmetros de turbidez, cor e vazão.



5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo obter dimensionamento hidrológico e hidráulico dos Sumps localizados no Pit Norte através do estudo das intensidades de chuva por curvas IDF, geradas com dados pluviometria.

Os resultados deste estudo mostraram que o dimensionamento atual dos Sumps é em geral suficiente para o recebimento de material erodido, sendo recomendado apenas a expansão dos Sumps 7, 8 e 9. Como houve uma reorganização de todo sistema de drenagem no Pit Norte, recomenda-se que no próximo período de chuvas, seja realizadas vistorias periódicas com maior frequência em todo o sistema a fim de perceber falhas de direcionamento, identificar zonas de erosão com formação de sulcos e ravinas e realizar a limpeza de estruturas que porventura estejam preenchidos com sedimentos.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIM F. F. & Martins-Neto M. A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Mar. Pet. Geol.* 33, 127-139;

ALVARES C.A., STAPE J.L., SENTELHAS P.C., DE MORAES GONCALVES J.L., SPAROVEK G., 2013: Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, 711–728. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ANA, 2021: HidroWeb, Sistema de Informações Hidrológicas. <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

BALTAZAR O.F. & ZUCCHETTI M. 2005. Lithofácies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the setting of gold deposits. *Ore Geol. Rev.* 32, 471–499;

BALDASSARINI, J. S. & NUNES, J. O. R. 2019. Estimação da perda de solo por processos erosivos em parcelas de monitoramento utilizando pinos de erosão em propriedades rurais do interior do Estado de São Paulo. *Confins* [Online], 38 | 2018, posto online no dia 16 fevereiro 2019, consultado o 21 setembro 2022. URL: <http://journals.openedition.org/confins/16084>; DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.16084>

BALASUBRAMANIAN, A. (2017). *Methods of Controlling Soil Erosion*. Centro de Estudos Avançados em Ciência da Terra. Universidade de Mysore, Mysore, Estados Unidos

BAPTISTA, J.A.; COELHO, M.L.P.C.; CIRILO, J.A. "Hidráulica Aplicada". ABRH. 2006. COPAM 62/2002 e 87/2005.

BELTRAME, L. F. S. Chuvas intensas. In: Chuvas intensas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1991.

CARNEIRO M.A. 1992. O Complexo Metamórfico do Bonfim Setentrional – Quadrilátero Ferrífero, MG: litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 233 p.

CHEMALE F. Jr., ROSIÈRE C. A., ENDO I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Prec. Res.*, 65:25-54;

COMITÊ DE BACIAS ESTADUAIS – IGAM. Disponível em: <http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg>. Acessado em: set/2022.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas-RS. *Eng. Agrícola.*, v. 28, n. 2, 2008.

DNIT. MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA DE DRENAGEM, 2006.

DOPICO C. I. M., LANA C., MOREIRA H. S., CASSINO L. F., ALKMIM F. F. 2019. U–Pb ages



and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Prec. Res.* 291 (2017) 143–161

DORR J. V. N. II. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geological Survey Prof. Paper 641-A, 110p.

ENDO I., GALBIATTI H. F., DELGADO C. E. R., OLIVEIRA M. M. F. de, ZAPPAROLI A. de C., MOURA L. G. B. de, PERES G. G., OLIVEIRA A. H. de, ZAVAGLIA G., DANDERFER Fº A., GOMES C. J. S., CARNEIRO M. A., NALINI Jr. H. A., CASTRO P de T. A., SUITA M. T. de F., TAZAVA E., LANA C. de C., MARTINS-NETO M. A., MARTINS M. de S., FERREIRA Fº F. A., FRANCO A. P., ALMEIDA L. G., ROSSI D. Q., ANGELI G., MADEIRA T. J. A., PIASSA L. R. A., MARIANO D. F., CARLOS D. U. 2019a. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: Uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969).Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br;

FOSTER, G.R. Modelling the erosion process. In: Haan, C.T.; Johnson. H.P.; Brakensienk, D.L. (ed). *Hydrologic modelling of small watersheds*, St. Joseph, Mich.: ASAE, 1982. p. 296-380. ASAE Monograph, 5

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IDE-SISEMA). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acessado em Ago/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Contribuição do IBRAM para o zoneamento ecológico-econômico e o planejamento ambiental dos municípios integrantes da APA-Sul RMBH. Brumadinho-MG vol.1, memorial descritivo, 2003. 228p

KIRPICH, Z. P. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, Reston, v. 10, n. 6, 1940.

LANG, K.J.; PRUNTY, L; SCHROEDER, S.A.; DISRUD, L.A. Interrill erosion as an index of mined land erodibility. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v.27, n.1, p.99-101, 1984.

LATTANZI, A.R.; MEYER, L.D.; BAUMGARDNER, M.F. Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v. 38, n. 6, p. 946-950, 1974.

MAPBIOMAS V.6.0. Disponível em <https://mapbiomas.org/>. Acessado em Ago/2022.

MARTINS, F. J. P. (2000). Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialidade de Hidráulica e Recursos Hídricos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

MEYER, L.D.; Wischmeier, W.H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v.12, n.6, p. 754-758, 1969.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.da; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia*



Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 6, p. 615-622, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000600010>

PINHEIRO, M. C. 2011. Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração. ABRH, 1ª edição. 308p.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. da C. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n. 2, p. 143-156, 2010.

PFAFSTETTER, Otto. Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro: DNOS, 1982.

SÁ, A. JR. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

SABINO, C. V. S; ABREU, J. F. de; LOBATO, W; SABINO, G. S; KNUP, E. A. N. Análise de alguns aspectos da qualidade da água da bacia do rio Paraopeba utilizando estatística multivariada. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 8, n. 2, p. 6-18, 2008.

SCHOBENHAUS C., BELLIZZIA A. (coord) 2000. Geologic Map of South America, Scale 1:5000000. MME-DNPM/UNESCO, Commission for the Geological Map of the World, Brasília.

SILVA, B.M.B, SILVA, D. D. e MOREIRA, M.C. 2011. Índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, Estado de Minas Gerais. Revista Ambiente & Água, v. 10, n.3, p. 623-634, 2015.

SOUZA C.G. 2006. Caracterização dos solos nos arredores da Serra Três Irmãos e da Serra da Moeda [manuscrito]: Quadrilátero Ferrífero/MG. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Biociências, 2006.

TOPODATA - BANCO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS DO BRASIL. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acessado em set/2022.

TORRICO, J.J.T. (1974) Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro: Transcon, 120 p.

VALE (2019). Relatório de consolidação anual – Minas Córrego do Feijão e Jangada. 2019.

VARAJÃO C.A.C. 1991. A Questão da Correlação das Superfícies de Erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Rev. Bras. Geoc. 21(2):138-145.

WATSON, D.A.; LAFLEN, J.M. Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion, Transactions of the ASAE, St Joseph, v.29, n.1, p.98-102, 1986.



7. ANEXOS

Anexo I: Resumo dos principais dados pluviométricos obtidos da análise.

Anexo II: Resultados dos cálculos pelo método Chow e Gumble para o Melo Franco

Anexo III: Dados utilizados para realização dos cálculos usando a ferramenta SOLVER para se obter os parâmetros IDF.

Anexo IV: Levantamento de dados dos Sumps e cálculo de volume de escoamento direcionado a eles.

Anexo V: Cálculo da vida útil das bacias de sedimentação do Pit Norte, com base na taxa de sedimentação



Anexo I

POSTO TERESINA - RESUMO DOS PRINCIPAIS DADOS PLUVIOMÉTRICOS						
Ano	Precipitação Máx Diária (mm)	Total Precipitado Ano (mm)	Total de dias de Chuva no Ano	Média de Dias de Chuva/ Mês	Precipitação min. Anual (mm)	Média Anual de dias sem Chuva
1942	67,1	1394,7	110	9	0,1	21
1943	68	1390,2	103	9	0,1	22
1944	75,4	1179,2	94	8	0,1	23
1945	78	1795,6	132	11	0,1	19
1946	64	944,9	83	7	0,2	24
1947	79	1407,1	86	7	0,2	23
1948	86,2	1006,6	71	6	0,1	25
1949	76	1241,4	61	5	0,2	20
1950	61	1011,5	77	6	0,5	24
1951	94	1097	65	5	1	25
1952	51,2	1395,3	81	7	0,5	24
1953	86,3	1249,4	67	6	1	25
1954	75	917,1	49	4	1,3	26
1955	95	1242,5	60	5	0,3	25
1956	66	1001,9	45	4	2,4	27
1957	68,2	1305,9	70	6	1	25
1958	50	1131,1	78	7	0,5	24
1959	80	832	50	4	0,5	26
1960	64	1218,8	88	7	0,4	23
1963	65,4	727,8	51	4	0,1	26
1964	75,3	1491,3	110	9	0,2	21
1965	54,1	1511,9	112	9	0,4	21
1966	62,2	1427,6	64	5	2,1	25
1967	93,5	1597,8	59	5	0,8	26
1968	73,3	1218,8	66	6	1,3	25
1969	100	758,6	43	4	0,8	27
1970	90	1447,4	65	5	0,4	25
1971	94	1774,2	70	6	2	25
1972	92,4	1487,1	109	9	0,3	21
1973	78,2	1484,3	102	9	0,2	22
1974	58,2	1280,4	116	10	0,2	21
1976	61,2	1441,8	129	11	0,1	20
1977	78,3	1047,9	101	8	0,1	22
1978	88,3	1411,9	106	9	0,1	22
1979	95,3	1998,3	123	10	0,1	20
1980	55,2	1326,9	82	7	1,2	24
1981	82,5	1614,6	93	8	0,9	23



1982	72,2	1491,6	106	9	0,1	22
1983	66,3	1959	130	11	1	20
1984	60,1	1114,1	90	8	1	23
1985	74,3	1637,7	109	9	0,1	21
1987	60,2	1072,7	100	8	0,1	17
1988	71,1	1066,2	88	7	0,1	23
1989	72,2	1207,9	94	8	0,1	23
1991	59	1127,4	92	8	1	23
1992	39,3	1305,8	101	8	1	22
1993	98,2	1233,2	114	10	0,1	21
1994	92,4	1459,7	89	7	0,1	23
1995	77,2	1288	101	8	0,1	22
1996	81,4	1295,8	80	7	0,3	21
1997	91,9	1450,3	107	9	0,1	22
1998	73,3	1394,1	101	8	0,1	22
1999	57,7	1152,7	92	8	0,4	23
2000	90,5	1425,6	96	8	0,1	23
2001	94,7	1183	91	8	0,2	23
2002	78,4	1336,1	105	9	0,2	22
2003	66,4	1087,1	91	8	0,3	23
2004	74,1	1509,3	108	9	0,1	22
2005	65,9	1346,6	111	9	0,1	21
2006	71	1120,7	101	8	0,1	22
2007	81,5	1078,6	82	7	0,2	24
2008	74,4	1659,6	104	9	0,1	22
2009	102,1	1836,9	111	9	0,2	21
2010	52,4	1215,9	94	8	0,1	23
2011	88,1	1536,9	89	7	0,1	23
2012	102,4	1160,1	85	7	0,1	23
2013	56,8	1167,2	93	8	0,1	23
2014	107	907,7	67	6	0,1	25
2015	78,5	1148,3	83	7	0,3	24
2016	94,4	1322,8	87	7	0,5	23
2017	76,1	1080,5	63	5	0,6	23
2018	73,3	1327,2	100	8	0,1	22
2019	37,8	851,5	68	6	0,2	22



Anexo II

Ano	P (mm)	Nº de ordem (m)	Pi (mm)	Pi - Pimédio (mm)	(Pi - Pimédio) ² (mm ²)	F = 100*(1-NºOrdem/(Nº Amostras+1))	Tr = (n+1)/m	Variável Reduzida (Y)	(y-yn) ²	K (10/σn)
1942	67,1	1	107	31,73	1007,06	98,65	74	4,3	14	2,8
1943	68	2	102,4	27,13	736,27	97,3	37	3,6	9,57	1,91
1944	75,4	3	102,1	26,83	720,08	95,95	24,7	3,18	7,43	1,49
1945	78	4	100	24,73	611,78	94,59	18,5	2,89	6,1	1,22
1946	64	5	98,2	22,93	525,98	93,24	14,8	2,66	5,17	1,03
1947	79	6	95,3	20,03	401,37	91,89	12,3	2,47	4,49	0,9
1948	86,2	7	95	19,73	389,44	90,54	10,6	2,31	3,96	0,79
1949	76	8	94,7	19,43	377,69	89,19	9,3	2,17	3,53	0,71
1950	61	9	94,4	19,13	366,12	87,84	8,2	2,04	3,17	0,63
1951	94	10	94	18,73	350,97	86,49	7,4	1,93	2,88	0,58
1952	51,2	11	94	18,73	350,97	85,14	6,7	1,83	2,63	0,53
1953	86,3	12	93,5	18,23	332,49	83,78	6,2	1,73	2,41	0,48
1954	75	13	92,4	17,13	293,58	82,43	5,7	1,64	2,22	0,44
1955	95	14	92,4	17,13	293,58	81,08	5,3	1,56	2,05	0,41
1956	66	15	91,9	16,63	276,7	79,73	4,9	1,48	1,9	0,38
1957	68,2	16	90,5	15,23	232,08	78,38	4,6	1,41	1,77	0,35
1958	50	17	90	14,73	217,1	77,03	4,4	1,34	1,65	0,33
1959	80	18	88,3	13,03	169,89	75,68	4,1	1,28	1,54	0,31
1960	64	19	88,1	12,83	164,72	74,32	3,9	1,21	1,44	0,29
1963	65,4	20	86,3	11,03	121,75	72,97	3,7	1,15	1,36	0,27
1964	75,3	21	86,2	10,93	119,56	71,62	3,5	1,1	1,27	0,25
1965	54,1	22	82,5	7,23	52,33	70,27	3,4	1,04	1,2	0,24
1966	62,2	23	81,5	6,23	38,87	68,92	3,2	0,99	1,13	0,23
1967	93,5	24	81,4	6,13	37,63	67,57	3,1	0,94	1,07	0,21
1968	73,3	25	80	4,73	22,41	66,22	3	0,89	1,01	0,2
1969	100	26	79	3,73	13,94	64,86	2,8	0,84	0,95	0,19
1970	90	27	78,5	3,23	10,46	63,51	2,7	0,79	0,9	0,18
1971	94	28	78,4	3,13	9,82	62,16	2,6	0,74	0,85	0,17
1972	92,4	29	78,3	3,03	9,21	60,81	2,6	0,7	0,81	0,16
1973	78,2	30	78,2	2,93	8,61	59,46	2,5	0,65	0,76	0,15
1974	58,2	31	78	2,73	7,48	58,11	2,4	0,61	0,72	0,14
1976	61,2	32	77,2	1,93	3,74	56,76	2,3	0,57	0,69	0,14
1977	78,3	33	76,1	0,83	0,7	55,41	2,2	0,53	0,65	0,13
1978	88,3	34	76	0,73	0,54	54,05	2,2	0,49	0,62	0,12
1979	95,3	35	75,4	0,13	0,02	52,7	2,1	0,45	0,59	0,12
1980	55,2	36	75,3	0,03	0	51,35	2,1	0,41	0,56	0,11



1981	82,5	37	75	-0,27	0,07	50	2	0,37	0,53	0,11
1982	72,2	38	74,4	-0,87	0,75	48,65	1,9	0,33	0,5	0,1
1983	66,3	39	74,3	-0,97	0,93	47,3	1,9	0,29	0,48	0,1
1984	60,1	40	74,1	-1,17	1,36	45,95	1,9	0,25	0,45	0,09
1985	74,3	41	73,3	-1,97	3,86	44,59	1,8	0,21	0,43	0,09
1987	60,2	42	73,3	-1,97	3,86	43,24	1,8	0,18	0,41	0,08
1988	71,1	43	73,3	-1,97	3,86	41,89	1,7	0,14	0,39	0,08
1989	72,2	44	72,2	-3,07	9,4	40,54	1,7	0,1	0,37	0,07
1991	59	45	72,2	-3,07	9,4	39,19	1,6	0,07	0,35	0,07
1992	39,3	46	71,1	-4,17	17,35	37,84	1,6	0,03	0,33	0,07
1993	98,2	47	71	-4,27	18,2	36,49	1,6	-0,01	0,31	0,06
1994	92,4	48	68,2	-7,07	49,92	35,14	1,5	-0,04	0,3	0,06
1995	77,2	49	68	-7,27	52,79	33,78	1,5	-0,08	0,28	0,06
1996	81,4	50	67,1	-8,17	66,68	32,43	1,5	-0,12	0,26	0,05
1997	91,9	51	66,4	-8,87	78,6	31,08	1,5	-0,16	0,25	0,05
1998	73,3	52	66,3	-8,97	80,38	29,73	1,4	-0,19	0,24	0,05
1999	57,7	53	66	-9,27	85,85	28,38	1,4	-0,23	0,22	0,04
2000	90,5	54	65,9	-9,37	87,72	27,03	1,4	-0,27	0,21	0,04
2001	94,7	55	65,4	-9,87	97,33	25,68	1,3	-0,31	0,2	0,04
2002	78,4	56	64	-11,27	126,92	24,32	1,3	-0,35	0,18	0,04
2003	66,4	57	64	-11,27	126,92	22,97	1,3	-0,39	0,17	0,03
2004	74,1	58	62,2	-13,07	170,71	21,62	1,3	-0,43	0,16	0,03
2005	65,9	59	61,2	-14,07	197,85	20,27	1,3	-0,47	0,15	0,03
2006	71	60	61	-14,27	203,51	18,92	1,2	-0,51	0,14	0,03
2007	81,5	61	60,2	-15,07	226,98	17,57	1,2	-0,55	0,12	0,02
2008	74,4	62	60,1	-15,17	230	16,22	1,2	-0,6	0,11	0,02
2009	102,1	63	59	-16,27	264,57	14,86	1,2	-0,65	0,1	0,02
2010	52,4	64	58,2	-17,07	291,24	13,51	1,2	-0,69	0,09	0,02
2011	88,1	65	57,7	-17,57	308,56	12,16	1,1	-0,75	0,08	0,02
2012	102,4	66	56,8	-18,47	340,98	10,81	1,1	-0,8	0,07	0,01
2013	56,8	67	55,2	-20,07	402,63	9,46	1,1	-0,86	0,06	0,01
2014	107	68	54,1	-21,17	447,99	8,11	1,1	-0,92	0,05	0,01
2015	78,5	69	52,4	-22,87	522,84	6,76	1,1	-0,99	0,04	0,01
2016	94,4	70	51,2	-24,07	579,16	5,41	1,1	-1,07	0,03	0,01
2017	76,1	71	50	-25,27	638,36	4,05	1	-1,16	0,02	0
2018	73,3	72	39,3	-35,97	1293,54	2,7	1	-1,28	0,01	0
2019	37,8	73	37,8	-37,47	1403,68	1,35	1	-1,46	0	0

Anexo III

Duração (Horas)	TR	Intensidade (mm/h)	Estimado mm/h	Erro	Duração (Horas)	TR	Intensidade (mm/h)	Estimado mm/h	Erro	Duração (Horas)	TR	Intensidade (mm/h)	Estimado mm/h	Erro	Duração (Horas)	TR	Intensidade (mm/h)	Estimado mm/h	Erro
0,1	5	132,57	141,23	75,09	0,1	15	158,81	159,79	1,39	0,1	25	170,25	169,23	1,04	0,1	100	179,78	197,76	323,36
0,2	5	121,27	121,27	0	0,2	15	143,98	137,2	45,97	0,2	25	153,95	145,31	74,79	0,2	100	171,03	169,8	1,51
0,3	5	98,95	100,78	3,32	0,3	15	117,12	114,02	9,61	0,3	25	125,03	120,75	18,28	0,3	100	141,76	141,11	0,42
0,5	5	75,85	79,53	13,54	0,5	15	89,6	89,98	0,14	0,5	25	95,56	95,3	0,07	0,5	100	109,68	111,36	2,84
0,6	5	68,26	72,22	15,63	0,6	15	80,6	81,71	1,23	0,6	25	85,94	86,53	0,36	0,6	100	98,95	101,12	4,72
0,8	5	57,3	61,3	16,02	0,8	15	67,61	69,36	3,06	0,8	25	72,06	73,46	1,95	0,8	100	83,33	85,84	6,29
1	5	49,71	53,51	14,43	1	15	58,63	60,54	3,66	1	25	62,48	64,12	2,7	1	100	72,45	74,93	6,15
2	5	32,37	33,71	1,79	2	15	38,39	38,14	0,07	2	25	41,03	40,39	0,42	2	100	47,97	47,2	0,59
4	5	19,94	20,35	0,17	4	15	23,74	23,03	0,5	4	25	25,41	24,39	1,05	4	100	29,85	28,5	1,84
6	5	14,76	14,97	0,05	6	15	17,59	16,94	0,43	6	25	18,85	17,94	0,84	6	100	22,19	20,96	1,52
8	5	11,85	11,99	0,02	8	15	14,14	13,57	0,32	8	25	15,16	14,37	0,61	8	100	17,86	16,8	1,14
10	5	9,96	10,08	0,02	10	15	11,89	11,41	0,23	10	25	12,76	12,08	0,45	10	100	15,05	14,12	0,85
12	5	8,63	8,75	0,01	12	15	10,31	9,9	0,17	12	25	11,06	10,48	0,34	12	100	13,05	12,25	0,65
14	5	7,64	7,75	0,01	14	15	9,13	8,77	0,13	14	25	9,79	9,29	0,25	14	100	11,56	10,85	0,5
16	5	6,86	6,98	0,01	16	15	8,2	7,89	0,1	16	25	8,8	8,36	0,2	16	100	10,4	9,77	0,4
18	5	6,24	6,36	0,01	18	15	7,46	7,19	0,07	18	25	8,01	7,62	0,15	18	100	9,47	8,9	0,32
20	5	5,73	5,85	0,01	20	15	6,86	6,62	0,06	20	25	7,36	7,01	0,12	20	100	8,7	8,19	0,26
24	5	4,93	5,06	0,02	24	15	5,9	5,73	0,03	24	25	6,33	6,07	0,07	24	100	7,49	7,09	0,16
0,1	10	149,22	152,67	11,95	0,1	20	165,19	165,04	0,02	0,1	50	185,86	182,94	8,52	Somatório do ERRO 953,21				
0,2	10	135,8	131,09	22,21	0,2	20	149,57	141,71	61,74	0,2	50	167,2	157,08	102,46					
0,3	10	110,58	108,94	2,7	0,3	20	121,53	117,76	14,19	0,3	50	135,49	130,54	24,58					
0,5	10	84,65	85,97	1,73	0,5	20	92,92	92,94	0	0,5	50	103,42	103,02	0,17					
0,6	10	76,16	78,07	3,63	0,6	20	83,57	84,39	0,68	0,6	50	92,97	93,54	0,33					
0,8	10	63,9	66,27	5,6	0,8	20	70,08	71,64	2,42	0,8	50	77,93	79,41	2,19					
1	10	55,42	57,85	5,87	1	20	60,77	62,53	3,12	1	50	67,54	69,31	3,15					
2	10	36,22	36,44	0,05	2	20	39,87	39,39	0,23	2	50	44,54	43,66	0,77					
4	10	22,37	22	0,13	4	20	24,68	23,78	0,8	4	50	27,65	26,36	1,66					
6	10	16,57	16,18	0,15	6	20	18,3	17,49	0,66	6	50	20,53	19,39	1,31					
8	10	13,31	12,97	0,12	8	20	14,71	14,02	0,48	8	50	16,52	15,54	0,96					
10	10	11,2	10,9	0,09	10	20	12,38	11,79	0,35	10	50	13,91	13,06	0,71					
12	10	9,7	9,45	0,06	12	20	10,73	10,22	0,26	12	50	12,06	11,33	0,54					
14	10	8,59	8,38	0,04	14	20	9,5	9,06	0,2	14	50	10,68	10,04	0,41					
16	10	7,72	7,54	0,03	16	20	8,54	8,15	0,16	16	50	9,6	9,04	0,32					
18	10	7,02	6,87	0,02	18	20	7,77	7,43	0,12	18	50	8,74	8,24	0,25					
20	10	6,45	6,32	0,02	20	20	7,14	6,84	0,09	20	50	8,03	7,58	0,2					
24	10	5,55	5,47	0,01	24	20	6,15	5,92	0,05	24	50	6,91	6,56	0,13					

Anexo IV

						TR 25			
Identificação	Área Sump (m²)	Volume Estimado do SUMP *	Estimativa de infiltração** (m³/dia)	Área de Contribuição da Bacia (m²)	Área de Contribuição (em km²)	Precipitação de 24h	Volume Total de Chuva (m³)	Coeficiente de Run-off	Volume Total Escoamento
SUMP 1	211,2	422,4	60,8	3627,5	0,00362753	0,152	551,4	0,4	220,6
SUMP 2	122,6	183,9	35,3	6305,8	0,00630575	0,152	958,5	0,4	383,4
SUMP 3	282,9	311,2	81,5	7600,5	0,00760052	0,152	1155,4	0,4	462,1
SUMP 4	211	337,6	60,8	7102	0,00710204	0,152	1079,6	0,4	431,8
SUMP 5	195,6	391,2	56,3	3154,6	0,00315456	0,152	479,5	0,4	191,8
SUMP 6	439,1	439,1	126,4	980,5	0,0009805	0,152	149	0,4	59,6
SUMP 7	53	53	15,3	5022,4	0,00502235	0,152	763,5	0,4	305,4
SUMP 8	57,4	68,9	16,5	8110,8	0,00811084	0,152	1232,9	0,4	493,2
SUMP 9	76,8	76,8	22,1	5213,2	0,00521321	0,152	792,5	0,4	317
SUMP 10A	238,3	357,5	68,6	7739	0,007739	0,152	1176,4	0,4	470,6
SUMP 10B	195,6	352,1	56,3	1740,2	0,0017402	0,152	264,5	0,4	105,8
SUMP 11	462,7	832,8	133,3	7584,6	0,00758463	0,152	1153	0,4	461,2
SUMP 12	1286,5	3859,4	370,5	13263,1	0,01326313	0,152	2016,1	0,4	806,5
SUMP 13	442,4	1105,9	127,4	10389	0,01038903	0,152	1579,3	0,4	631,7
SUMP 14	787,3	1417,2	226,7	4188,5	0,00418848	0,152	636,7	0,4	254,7
SUMP 15	392	588	112,9	4999	0,00499904	0,152	759,9	0,4	304
SUMP 16	966	2415	278,2	27531,9	0,02753192	0,152	4185,2	0,4	1674,1
SUMP 17	1279,2	3837,7	368,4	5047,2	0,00504715	0,152	767,2	0,4	306,9
SUMP 17 A	263	394,4	75,7	5048,2	0,00504815	0,152	767,4	1,4	1074,3
SUMP 18	325,2	878	93,7	5049,2	0,00504915	0,152	767,5	2,4	1842,1
SUMP 19	1158,4	2896	333,6	14440,8	0,01444084	0,152	2195,2	0,4	878,1
SUMP 20	442,1	1105,2	127,3	7399,1	0,00739909	0,152	1124,7	0,4	449,9
SUMP 21	645,6	1291,2	185,9	1289,6	0,00128956	0,152	196	0,4	78,4
* Medido pela Topografia e pela visita a campo									
**Taxa de infiltração média p/ Silte - 12mm/h									

Anexo V

Identificação	Área Sump (m²)	Volume atual	Área contribuição (m²)	Área contribuição	Cobertura do Solo	Qntd. sedimentos (m3/ano)	Quantidade de Sedimentos (m3/dia)	Capacidade de contenção de sedimentos
SUMP 1	211,2	422,4	3627,5	0,3416	Solo exposto	205	0,56	752
SUMP 2	122,6	183,9	6305,8	0,6183	Solo exposto	371	1,02	181
SUMP 3	282,9	311,2	7600,5	0,7318	Solo exposto	439,1	1,2	259
SUMP 4	211	337,6	7102	0,6891	Solo exposto	413,5	1,13	298
SUMP 5	195,6	391,2	3154,6	0,2959	Solo exposto	177,5	0,49	804
SUMP 6	439,1	439,1	980,5	0,0541	Solo exposto	32,5	0,09	4933
SUMP 7	53	53	5022,4	0,4969	Solo exposto	298,2	0,82	65
SUMP 8	57,4	68,9	8110,8	0,8053	Solo exposto	483,2	1,32	52
SUMP 9	76,8	76,8	5213,2	0,5136	Solo exposto	308,2	0,84	91
SUMP 10A	238,3	357,5	7739	0,7501	Solo exposto	450	1,23	290
SUMP 10B	195,6	352,1	1740,2	0,1545	Solo exposto	92,7	0,25	1387
SUMP 11	462,7	832,8	7584,6	0,7122	Solo exposto	427,3	1,17	711
SUMP 12	1286,5	3859,4	13263,1	1,1977	Solo exposto	718,6	1,97	1960
SUMP 13	442,4	1105,9	10389	0,9947	Solo exposto	596,8	1,64	676
SUMP 14	787,3	1417,2	4188,5	0,3401	Solo exposto	204,1	0,56	2535
SUMP 15	392	588	4999	0,4607	Solo exposto	276,4	0,76	776
SUMP 16	966	2415	27531,9	2,6566	Solo exposto	1594	4,37	553
SUMP 17	1279,2	3837,7	5047,2	0,3768	Solo exposto	226,1	0,62	6196
SUMP 17 A	263	394,4	5048,2	0,4785	Solo exposto	287,1	0,79	501
SUMP 18	325,2	878	5049,2	0,4724	Solo exposto	283,4	0,78	1131
SUMP 19	1158,4	2896	14440,8	1,3282	Solo exposto	796,9	2,18	1326
SUMP 20	442,1	1105,2	7399,1	0,6957	Solo exposto	417,4	1,14	966
SUMP 21	645,6	1291,2	1289,6	0,0644	Solo exposto	38,6	0,11	12198



Curso de Especialização
em Engenharia Mineral