



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



Gabriel dos Santos

Análise da drenagem da cava Gongo Soco e da pilha ADME Leste: Pontos críticos e soluções propostas

OURO PRETO - MG
2025

Gabriel dos Santos

**ANÁLISE DA DRENAGEM DA CAVA GONGO SOCO E DA PILHA ADME LESTE:
PONTOS CRÍTICOS E SOLUÇÕES PROPOSTAS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Orientador: Hernani Mota de Lima

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237a Santos, Gabriel dos.

Análise da drenagem da cava Gongo Soco e da pilha ADME Leste
[manuscrito]: pontos críticos e soluções propostas. / Gabriel dos Santos. -
2025.

54 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Mineração a céu aberto. 2. Drenagem. 3. Lavra a céu aberto -
Cava. 4. Pilha de estéril. I. Lima, Hernani Mota de. II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.7.097

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabriel dos Santos

Análise de drenagem da cava Gongo Soco e da pilha ADME Leste: Pontos críticos e soluções propostas

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

Aprovada em 08 de agosto de 2025

Membros da banca

Dr - Hernani Mota de Lima - Orientador - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr - José Fernando Miranda - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Engenheiro - Augusto do Carmo Souza Davin - (VALE S.A.)

Hernani Mota de Lima, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/08/2025



Documento assinado eletronicamente por **Hernani Mota de Lima, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/08/2025, às 15:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0959467** e o código CRC **C422C652**.

A Deus dedico mais esta etapa vencida,
meus pais, pelo apoio incondicional.
A minha avó, pelo carinho e amor.
A República Tira Mágoa e os amigos que
fiz durante minha vida universitária.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Hernani, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores que marcaram minha passagem pelo curso de Engenharia de Minas por ter tido importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A vida republicana de Ouro Preto, em especial a Tira Mágoa, e os amigos que não fiz bebendo água.

E aos amigos dessa jornada pela UFOP que sempre me ajudaram e me apoiaram diante de tantas dificuldades.

A minha família pelo apoio, em especial a minha mãe, avó e pai que sempre acreditaram nas minhas capacidades.

*"Não tenho nada a oferecer senão sangue, trabalho,
lágrimas e suor".*

Winston Churchill

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta uma análise aprofundada da drenagem de uma cava e uma pilha de estéril pertencentes à mina Gongo Soco da Vale S.A. A relevância deste estudo é impulsionada pelo histórico de severas erosões na cava, agravadas pela presença de filito e por condições freáticas críticas, que historicamente resultaram em rupturas de taludes. A pilha ADME Leste foi construída para mitigar o risco de colapso no setor norte da cava e proteger as estruturas adjacentes e os colaboradores. Com a paralização das operações de lavra, o fundo da cava está, atualmente, sendo utilizado para a disposição de rejeitos oriundos da descaracterização da barragem Sul Superior, o que demanda um complexo e dinâmico manejo da drenagem. Diante do cenário de instabilidade de taludes e da disposição de rejeito, a avaliação do sistema de drenagem atual se faz importante para identificar pontos críticos e propor soluções eficazes. Para tanto, foram estudadas as normas e parâmetros essenciais para garantir uma drenabilidade eficiente. A metodologia adotada envolveu a utilização de dados hidrológicos, hidrogeológicos e topográficos, com o auxílio do *software* Deswik para a análise da situação atual da drenagem. Os resultados desta análise subsidiam a proposição de intervenções que visam prevenir novas erosões, fortalecer a estabilidade das estruturas e assegurar a continuidade operacional e a segurança na mina.

Palavras-chave: Drenagem, Cava, Pilha, Deswik, Gongo Soco.

ABSTRACT

This final project presents an in-depth analysis of the drainage of a pit and a waste rock pile at the Vale S.A.'s Gongo Soco mine. The relevance of this study is driven by the history of severe erosion in the pit, aggravated by the presence of phyllite and critical groundwater conditions, which have historically resulted in slope failures. The ADME Leste pile was built to mitigate the risk of collapse in the northern sector of the pit and protect adjacent structures and employees. With the suspension of mining operations, the bottom of the pit is currently being used for the disposal of tailings from the decommissioning of the Sul Superior dam, which requires complex and dynamic drainage management. Given the scenario of slope instability and tailings disposal, an evaluation of the current drainage system is important to identify critical points and propose effective solutions. To this end, essential standards and parameters were studied to ensure efficient drainage. The methodology involved the use of hydrological, hydrogeological, and topographical data, with the help of the Deswik software to analyze the current drainage situation. The results of this analysis support the proposal of interventions aimed at preventing new erosion, strengthening the stability of the structures, and ensuring operational continuity and safety at the mine.

Key-words: Drainage, pits, piles, Deswik, Gongo Soco.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de isozonas de igual relação entre as alturas de chuvas de 6 min e 1 hora com a chuva de 24 horas (PINHEIRO, 2011).....	12
Figura 2 - Ábaco para interpolação e cálculo de alturas de chuvas (PINHEIRO, 2011).....	13
Figura 3 - Topografia da cava e pilha.....	16
Figura 4 - Superfície topográfica da cava e pilha.....	17
Figura 5 - Batimetria do fundo da cava.....	17
Figura 6 - Ortofoto da cava Gongo Soco e pilha ADME Leste.....	18
Figura 7 - Isozonas de igual relação entre as precipitações de diferentes durações na área de abrangência dos estudos (PINHEIRO, 2011).....	19
Figura 8 - Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais - Folha 4.....	21
Figura 9 - Setorização geotécnica da cava e pilha.....	22
Figura 10 - Setor Norte da cava e pilha.....	22
Figura 11 - Setor Sul da cava e pilha.....	23
Figura 12 – Model Parameters.....	23
Figura 13 - Catchment Outputs.....	24
Figura 14 - <i>Inputs Waterflows to query</i>	25
Figura 15 - Rainfall model.....	26
Figura 16 - Mapa Pedológico da Região de Gongo Soco.....	27
Figura 17 - Legenda do Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais.....	27
Figura 18 - Inputs - Sediment basin volume.....	30
Figura 19 - Linhas de drenagem da análise.....	31
Figura 20 – Pontos de derramamentos das bacias criadas na análise.....	31
Figura 21 – Pontos de acúmulos das bacias.....	32
Figura 22 – Setas e conexão entre as bacias.....	32
Figura 23 – Polígonos gerados pelo acúmulo de água.....	33
Figura 24 – Sólidos gerados pelo acúmulo de água.....	33
Figura 25 – Superfície colorida com base na acumulação dos fluxos.....	34
Figura 26 – Análise lago oeste da cava.....	34
Figura 27 - Caminho mais longo do lago oeste da cava.....	35

Figura 28 – Analise lago leste da cava	35
Figura 29 - Caminho mais longo do lago leste da cava	36
Figura 30 - Drenagem na face do talude - Cava Sul a direita.....	37
Figura 31 - Drenagem da face do talude - Cava Sul a esquerda	37
Figura 32 - Drenagem na face do talude - Cava Norte a esquerda	37
Figura 33 - Drenagem na face do talude - Cava Norte a direita	38
Figura 34 - Drenagem na face do talude - ADME Leste	38
Figura 35 - Empoçamento - Cava Sul a direita.....	39
Figura 36 - Empoçamento - Cava Norte a esquerda	40
Figura 37 - Empoçamentos - ADME Leste.....	41
Figura 38 - Lagos gerados do fundo da cava.....	41
Figura 39 - Resultados do lago oeste.....	43
Figura 40 - Resultados do lago leste.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da precipitação média anual e do index-flood utilizados para o cálculo das relações IDF na área de abrangência da DIFL e DIFS. Adaptado de Pinheiro, (2011)	19
Tabela 2 - Altura Pluviométrica PT, d (mm) na mina Gongo-Soco (PINHEIRO, 2011).....	20
Tabela 3 - Soil Erodibility Factor	28
Tabela 4 - Condição da superfície do solo.....	29
Tabela 5 - Resultados das análises dos lagos	44

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD – Computer-Aided Design
DIFL – Departamento de Infraestrutura Logística da Vale
DIFS – Diretoria de Ferrosos Sudeste
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
DOU – Diário Oficial da União
IDF – Intensidade-Duração-Frequência
RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation
NBR – Norma Brasileira
SED – Sediment
TR – Tempo de Retorno
UFV – Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. Conceitos Fundamentais de Drenagem em Mineração	9
2.2. Aspectos Hidrológicos e Hidrogeológicos.....	10
2.2.1. Pluviologia: relações altura-duração-frequência	11
2.3. Pedologia e sua relação com a drenagem.....	13
2.4. Riscos associados à drenagem inadequada	14
2.5. Normas e legislação aplicáveis à drenagem em mineração.....	14
3. METODOLOGIA	16
4. RESULTADOS	22
4.1. Dados de Entrada.....	23
4.2. Cenários gerados	30
4.3. Análise do primeiro cenário (sem evento de chuva)	36
4.4. Análise do segundo cenário (Com evento de chuva)	41
4.5. Problemas e Soluções de Drenagem	44
5. CONSIDERACOES FINAIS	45

1. INTRODUÇÃO

A mudança de cenários em uma mina em operação é extremamente veloz. Por sua vez, a drenagem não é efetivamente estudada. A cava Gongo Soco possui, desde sua origem, histórico de erosões devido ao filito presente da formação Cauê (Grupo Itabira) e condições freáticas críticas que culminavam em rupturas de taludes. Entre os anos 2007 e 2008 foram constatadas 3 grandes rupturas, ainda em 2008 foi iniciado um contra empilhamento próximo a uma das rupturas que recebeu o nome de ADME Leste. Atualmente o fundo da cava recebe a disposição do rejeito proveniente da descaracterização da Barragem Sul Superior. Devido a mudança constante do fluxo de drenagem a fim de conter novas erosões na cava e, para atender a disposição de rejeito no fundo dela, o cenário atual de drenagem possui um fluxo complexo.

Este estudo é fundamental para a Mina Gongo Soco, pois a análise de drenagem da cava Gongo Soco e da pilha ADME Leste é crucial para a segurança e a continuidade das operações. Considerando o histórico de inúmeras erosões na cava e a função da pilha ADME Leste em conter rupturas na cava norte, a estabilidade dessas estruturas é um desafio constante. Além disso, a disposição de rejeitos da barragem Sul Superior na cava exige um manejo cuidadoso da drenagem. Portanto, este trabalho visa identificar os pontos críticos de drenagem e propor soluções eficazes para mitigar riscos de erosão, garantir a segurança dos trabalhadores e proteger os ativos da mina em um cenário tão complexo.

O objetivo geral deste TCC é avaliar o sistema de drenagem da mina Gongo Soco (Cava Gongo Soco e pilha ADME Leste) em seu estado atual, a fim de garantir a segurança das estruturas e a continuidade das operações no fundo da cava. Os objetivos específicos incluem:

1. Estudo das normas e parâmetros necessários para se garantir uma boa drenabilidade;
2. Determinação de pontos críticos da drenagem; e
3. Proposição de soluções.

O TCC está dividido em cinco capítulos, onde o primeiro apresenta a formulação do problema de drenagem. O segundo consiste na justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos gerais e específicos. O terceiro consiste em uma explicação do histórico de erosões e projeto da cava e pilha estudados, além da explicação da setorização da cava/pilha. O quarto consiste na análise da drenagem da cava Gongo Soco e pilha AMDE Leste. Por fim, o quinto é o estudo dos pontos críticos e suas soluções.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceitos Fundamentais de Drenagem em Mineração

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

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

Os principais elementos constituintes do sistema de drenagem incluem (SILVEIRA 2014):

Canaletas – canaletas são canais retangulares, triangulares ou trapezoidais que têm como objetivo interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante, impedindo-as de atingir o talude de corte. As canaletas podem incorporar pequenas barragens de desaceleração que favorecem a infiltração e protegem contra erosão;

Canais – são valetas de grande profundidade, são caracteristicamente obras de grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal;

Descidas d'água – são canais, geralmente em degraus, ou tubos fechados, construídos nos taludes de corte ou aterro. Sua finalidade é captar toda água dos pontos de captação e afastá-las do corpo do talude;

Bacia de Amortecimento (Sump) – são pequenos reservatórios que armazenam o excesso de vazão pluvial e possibilitam seu direcionamento ordenado para fora da cava, por exemplo;

Caixas de Amortecimento – são pequenos reservatórios executadas no final das canaletas e/ou das escadas d'água, com a finalidade de diminuir a velocidade da água, quando o terreno for muito inclinado;

Bueiros – são elementos de drenagem superficial construídos transversalmente sob o leito das estradas, destinados a conduzir as águas provenientes bacias por elas cortados;

Reservatório de detenção e retenção – são dispositivos utilizados para armazenar águas pluviais por um período, reduzindo os problemas de enchentes durante as chuvas. O principal problema dos reservatórios de detenção é a manutenção após os eventos de

chuva, no qual o escoamento superficial transporta todos os tipos de resíduos sólidos e sedimentos presentes na bacia;

Trincheiras de infiltração – são estruturas lineares de grande comprimento. A geometria depende da infiltrabilidade do solo e da área disponível para que se proceda à infiltração. A função principal da trincheira de infiltração é a redução do escoamento, promover a recarga de aquíferos e promover o tratamento da água pelos meios de infiltração no solo;

Poços de infiltração – são dispositivos pontuais de profundidade considerável, que permitem a infiltração do escoamento superficial para dentro do solo. Pode ser estruturado por um preenchimento com brita (meio poroso);

Em projetos de engenharia, especialmente em mineração, as obras hidráulicas são formadas por uma série de estruturas interligadas. O design cuidadoso dessas conexões é crucial para evitar mudanças abruptas ou elevações significativas nos perfis de escoamento, o que poderia levar ao colapso das instalações e taludes.

2.2. Aspectos Hidrológicos e Hidrogeológicos

Segundo Lanna (1995), o processo de gerenciamento de recursos hídricos envolve componentes multidisciplinares visto que precisa atender a diferentes objetivos, sejam econômicos, ambientais ou sociais. Dentre esses componentes, a engenharia de recursos hídricos busca adequar a disponibilidade e a necessidade de água em termos de espaço, tempo, quantidade e qualidade. Seu trabalho está relacionado aos diversos usos da água, onde pode-se destacar infraestrutura social, agricultura, florestamento, aquacultura, indústria, mineração, conservação e preservação. Esses usos da água podem ser consuntivos, não consuntivos e locais. O emprego consuntivo da água provoca a sua retirada da fonte natural, diminuindo sua disponibilidade espacial e temporal (ex: agricultura, processamento industrial e uso doméstico). Por sua vez, no uso não-consuntivo, praticamente toda água utilizada retorna à fonte de suprimento, podendo haver modificação na sua disponibilidade e características ao longo do tempo (ex: recreação, piscicultura e mineração). O uso local não provoca modificações relevantes na disponibilidade da água.

De acordo com Oliveira (2001), a hidrologia é a ciência que trata da água de forma global, investigando suas propriedades, sua circulação e sua distribuição sobre e sob a superfície, bem como na atmosfera. Por sua vez, a hidrogeologia foi definida inicialmente como o estudo das leis da ocorrência e movimento das águas subterrâneas em diferentes tipos de rochas e formações. Atualmente, a hidrogeologia preocupa-se também com o aproveitamento que o homem pode dar a esses aquíferos.

A hidrologia e a hidrogeologia podem fornecer ferramentas valiosas para o diagnóstico do impacto de empreendimentos de mineração nas águas superficiais e subterrâneas. O mapeamento hídrico e geológico da região desde a fase de pré-viabilidade do projeto permite a formação de um banco de dados a partir do qual pode-se ter um maior controle do processo, antecipar problemas ambientais e, conseqüentemente, propor possíveis soluções (OLIVEIRA, 2001).

2.2.1. Pluviologia: relações altura-duração-frequência

Quando se monitora a precipitação, as grandezas essenciais, conforme Pinheiro (2011), são a altura (P) da chuva e sua duração (t). A partir dessas duas, calcula-se a intensidade da chuva como a razão P/t, cuja dimensão é [L×T⁻¹] (comprimento por tempo).

Em estações pluviométricas que utilizam pluviógrafos, é possível extrair amostras dos maiores volumes anuais de chuva para diferentes durações, todas com menos de 24 horas. Tipicamente, selecionam-se durações como 5, 10, 15, 20, 30 e 45 minutos, além de 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 18 e 24 horas. Para cada uma dessas durações específicas, realiza-se uma análise estatística para determinar os quantis (valores de precipitação) associados a períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Da associação das intensidades resultantes de cada duração e com uma certa frequência, podem ser estabelecidas relações do tipo indicada abaixo, também conhecida como equação de chuvas intensas:

$$i = \frac{a \cdot TR^b}{(t \pm \xi_0)^c}$$

Na equação anterior, i é a intensidade de chuva (mm/h), TR o período de retorno (frequência), t a duração (minutos), a/b/c são constantes de regressão e ξ_0 um parâmetro de escala do modelo matemático de regressão.

A uniformidade regional das relações intensidade-duração-frequência (IDF) das precipitações é um aspecto importante, pois permite que essas equações sejam generalizadas e aplicadas em bacias hidrográficas que não possuem dados de monitoramento de chuvas.

Além disso, é possível derivar uma relação altura-duração-frequência (ADF) mesmo a partir de dados coletados por uma estação pluviométrica equipada apenas com um pluviômetro totalizador diário. Esse método, conhecido como desagregação de chuvas, consiste em estimar as alturas de chuva para durações inferiores a 24 horas, baseando-se nas alturas totais acumuladas ao longo de um dia.

No Brasil, uma das abordagens mais tradicionais para a desagregação de chuvas é o método das isozonas, desenvolvido por Taborga (1974). Este método baseia-se no trabalho clássico de Pfafstetter (1957) e surgiu da observação de uma uniformidade regional nas relações entre as alturas de chuva de 6 minutos e 24 horas (P_{6min} / P_{24}), e de 1 hora e 24 horas (P_{1h} / P_{24}). Essa uniformidade resultou na criação das isozonas, que são regiões com proporções semelhantes entre precipitações de diferentes durações. O mapa dessas isozonas, que ilustra os quocientes entre as chuvas de 6 minutos e 1 hora em relação à chuva de 24 horas, pode ser visualizado na Figura 1. Para estimar as alturas de chuva em outras durações não especificadas, é possível utilizar a interpolação por meio do gráfico apresentado na Figura 2.

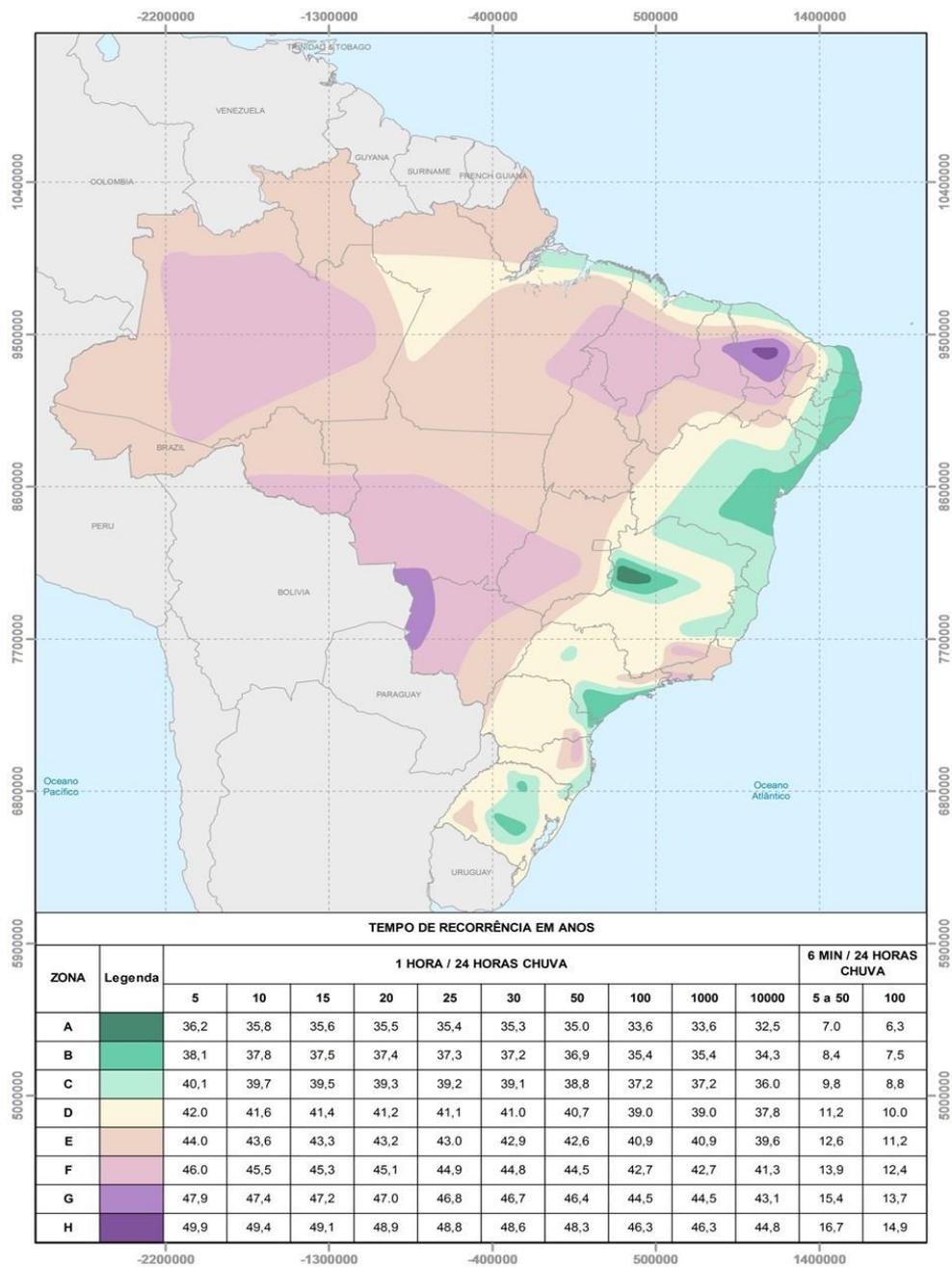


Figura 1 - Mapa de isozonas de igual relação entre as alturas de chuvas de 6 min e 1 hora com a chuva de 24 horas (PINHEIRO, 2011).

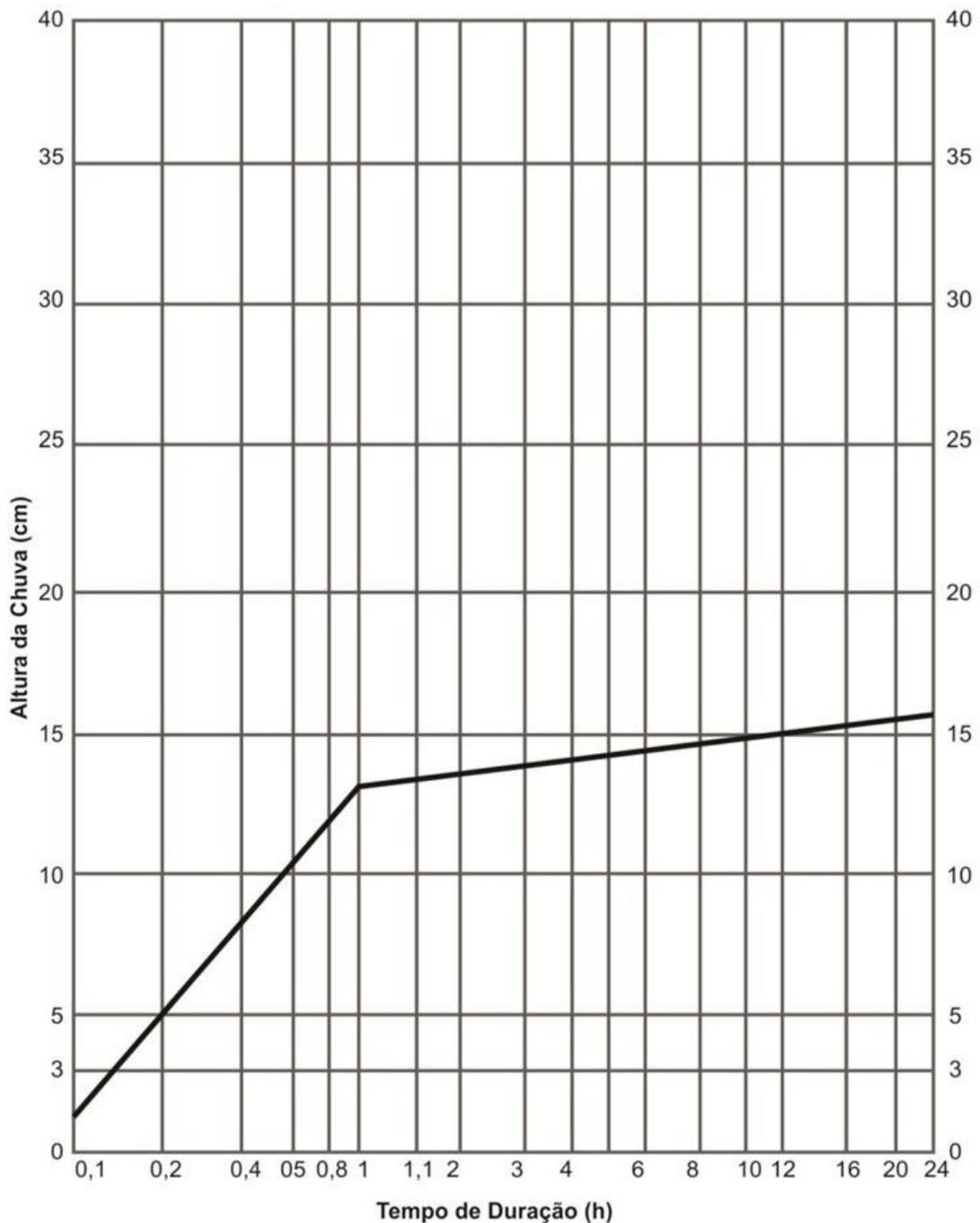


Figura 2 - Ábaco para interpolação e cálculo de alturas de chuvas (PINHEIRO, 2011).

2.3. Pedologia e sua relação com a drenagem

A necessidade de compreensão da distribuição espacial dos solos e da sua dinâmica interna requer a integração dos estudos pedológicos com outros ramos do conhecimento, principalmente dos relacionados às Ciências da Terra, sendo importante considerar, no entanto, o significado das várias escalas de abordagem da pedopaisagem. Nesse sentido, destacam-se a geologia, em particular a estratigrafia (principalmente dos depósitos

superficiais mais recentes), a geomorfologia (quanto à morfogênese e morfografia) e a hidrologia (referente aos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais) (VIDAL-TORRADO, 2005).

2.4. Riscos associados à drenagem inadequada

Conforme Teixeira (1984), o clima predominante no Brasil apresenta estações chuvosas bem definidas, com a maior parte da precipitação concentrada em poucos meses. Esse regime pluviométrico pode causar graves prejuízos a minas a céu aberto se a drenagem não for adequadamente considerada no planejamento e projeto mineiro. Uma drenagem ineficiente em uma mina a céu aberto pode paralisar totalmente as atividades de lavra, interrompendo a produção e danificando taludes, obras e equipamentos.

A drenagem superficial é imprescindível para o funcionamento adequado de uma cava e suas unidades operacionais. Sua execução e controle podem:

- aumentar o fator de segurança da estabilidade de taludes;
- limitar processos erosivos e o carreamento de sedimentos;
- controlar o nível do lençol freático para permitir o avanço da cava;
- garantir o abastecimento hídrico das instalações de suporte, usina e áreas auxiliares;
- prevenir a poluição de recursos hídricos ao direcionar o escoamento/bombeamento para áreas de descontaminação ou sedimentação de finos (SILVA; LOPES, 2023).

Taludes saturados e não saturados apresentam comportamentos de estabilidade distintos. Lambe e Whitman (1979), citados por Araújo Filho et al. (2017), explicam que a presença de água no solo reduz o atrito entre partículas, agindo como lubrificante.

2.5. Normas e legislação aplicáveis à drenagem em mineração

Conforme estabelece o Diretor-Geral do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, no uso das atribuições que lhe confere o art. 12 do Decreto nº 3.576, de 30 de agosto de 2000, publicado no DOU de 31 de agosto de 2000, tendo em vista o disposto no inciso III do art. 3º, nos incisos V, VI, XI, XIII e XV do art. 47, nos arts. 88 e 97 do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967; incisos VI e VII do art. 3º da Lei nº 8.876, de 2 de maio de 1994 e incisos IV, VI, VII e X do art. 9º da Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989;

19.2.6 – Devem ser consideradas as seguintes regras básicas para conformação das pilhas:

- g) efetuar drenagem das bermas e plataformas;
- h) construir canais periféricos a fim de desviar a drenagem natural da água da pilha.

19.2.7 É necessária a implantação de sistema de drenagem para evitar inundações no caso de disposição em vales.

19.2.8 À jusante do pé da pilha devem ser implantados dispositivos de retenção de assoreamento.

20.3.1 Para a suspensão das operações mineiras, após comunicação prévia, é obrigatório o pleito ao Ministro de Estado de Minas e Energia em requerimento justificativo caracterizando o período pretendido, devidamente acompanhado de instrumentos comprobatórios, nos quais constem:

f) planos referentes a:

IV – Drenagem da mina e de atenuação dos impactos no meio físico e especialmente o meio hídrico;

20.4.1 Para o fechamento de mina, após comunicação prévia, é obrigatório o pleito ao Ministro de Estado de Minas e Energia, em requerimento justificativo devidamente acompanhado de instrumentos comprobatórios nos quais constem:

f) programa de acompanhamento e monitoramento relativo a:

IV – Drenagem das águas;

O projeto da pilha de estéril deve incluir a definição das localizações e da geometria dos dispositivos de drenagem superficial, bem como as especificações dos materiais que serão empregados. Segundo a ABNT NBR 13029:2017, os tempos mínimos de recorrência recomendados são de 100 anos para dispositivos de pequena vazão, como canaletas de berma, canaletas de topo, drenagem de acesso sobre a pilha e descidas d'água entre taludes; 500 anos para os canais periféricos definitivos de coleta e condução de águas superficiais. Para os dispositivos temporários, considerar riscos hidrológicos máximos de: 5% para os dispositivos: canaletas de berma, canaletas de topo, drenagem de acesso e descidas de água entre taludes; 2% para os canais periféricos de coleta e condução de águas superficiais.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os materiais e os métodos adotados na elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Neste TCC utilizou-se dados de hidrologia, hidrogeologia e topografia das áreas estudadas. A maior parte dessas informações foi fornecida pela empresa Vale. A análise foi realizada com o auxílio de um *software* específico. Segue, a lista de dados utilizados:

- Topografia: Para o desenvolvimento do trabalho o dado mais importante é a topografia da cava e da pilha, pois será a informação de partida a ser utilizada pelo software para a análise. A Figura 3 apresenta a topografia da cava e da pilha, construída na encosta de um dos setores da cava. A Figura 4 apresenta solido gerado com apoio do software Deswik.

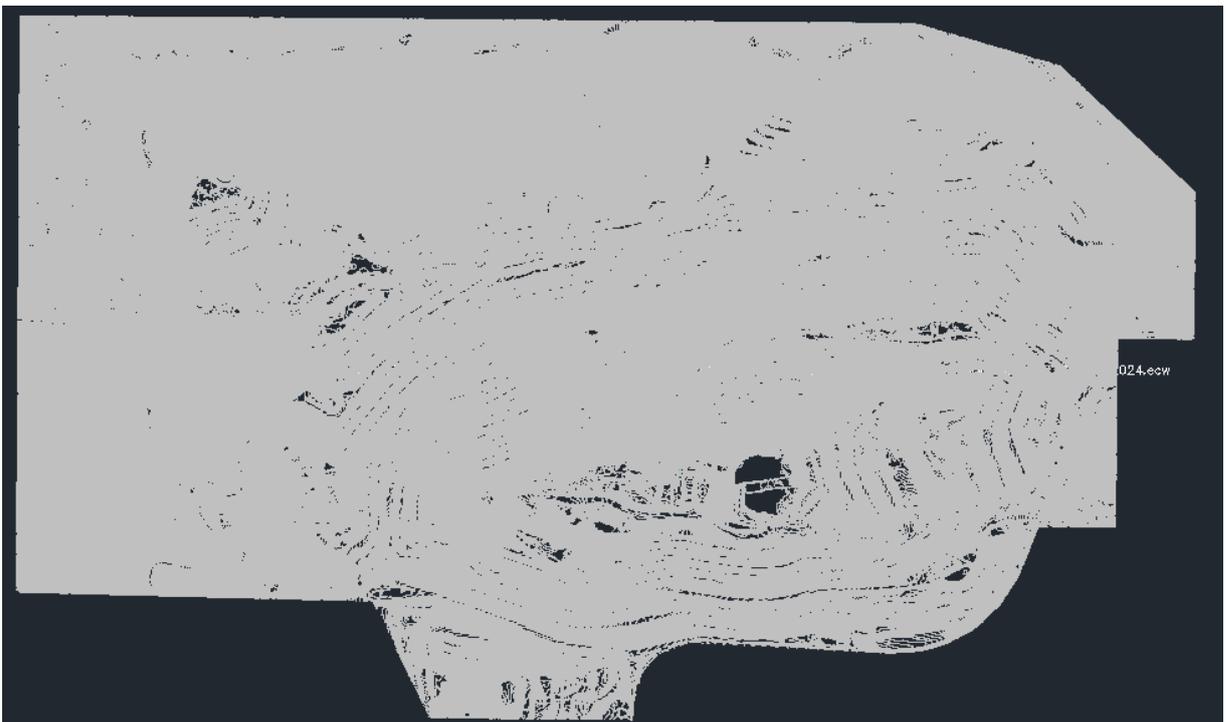


Figura 3 - Topografia da cava e pilha
Fonte: Vale – 24/11/2024 (SIRGAS2000).

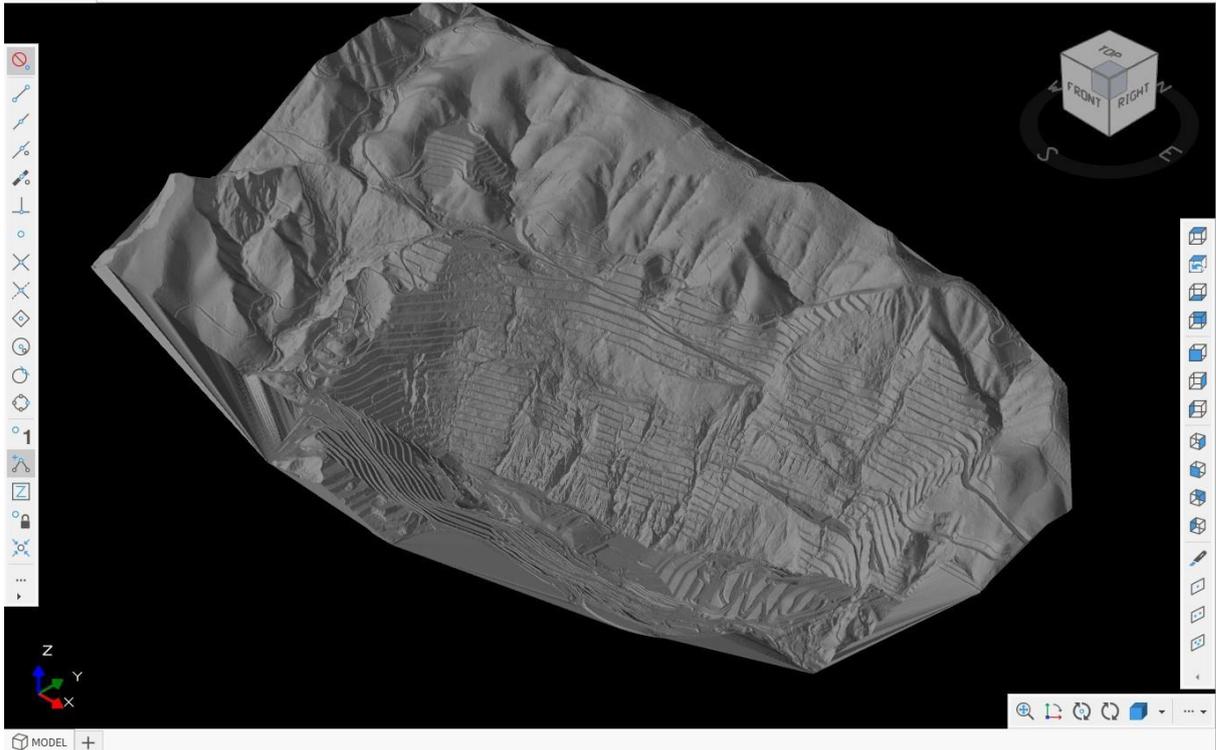


Figura 4 - Superfície topográfica da cava e pilha
 Fonte: Vale – 24/11/2024

- **Batimetria:** O dado de batimetria será utilizado para demonstrar o nível de assoreamento dos dois lagos gerados no fundo da cava pela drenagem superficial e os drenos horizontais profundos que direcionam a água para eles. A Figura 5 apresenta os lagos, onde os pontos com coloração azul e roxo são os pontos de maior profundidade do lago.

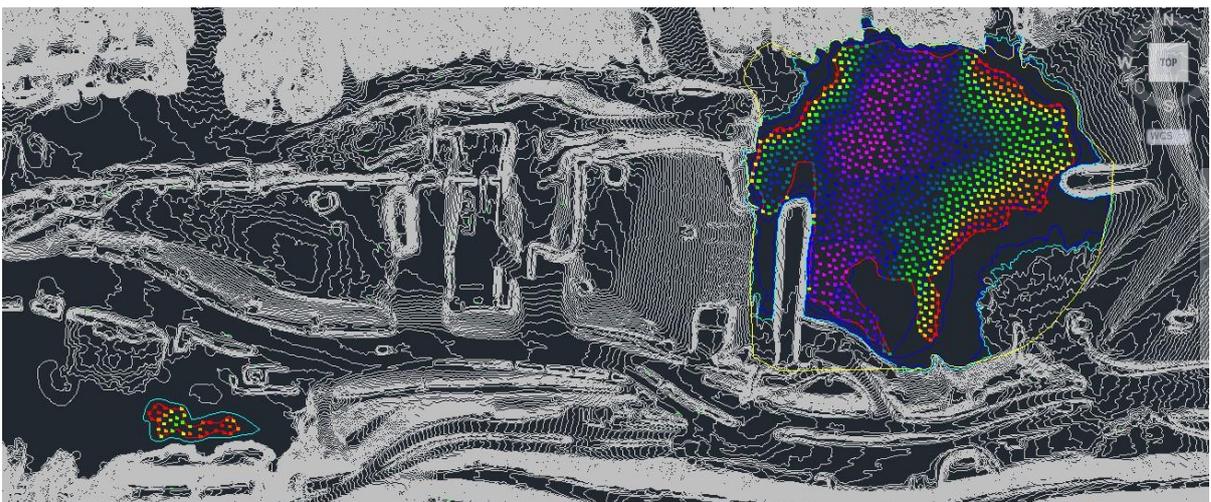


Figura 5 - Batimetria do fundo da cava
 Fonte: Vale – 02/01/2025

- **Deswik:** O *software* foi utilizado para a análise da drenagem. O módulo CAD para a análise da drenagem.

- Ortofoto: A Ortofoto será utilizada para a visualização mais clara da drenagem, visto que é um dado com imagem real georreferenciada da área estudada. A Figura 6 apresenta a Ortofoto da cava e da pilha.



Figura 6 - Ortofoto da cava Gongo Soco e pilha ADME Leste.

Fonte: Vale - 24/11/2024.

- Chuvas Intensas: O dimensionamento hidrológico de bacias hidrográficas é usualmente realizado com base nas chuvas intensas, definidas como aquelas que apresentam grandes lâminas precipitadas em pequenos intervalos de tempo e que geram grandes volumes de escoamentos superficiais. Para este relatório, foi considerado o estudo realizado por Pinheiro (2011) que estabeleceu, para cada unidade de mineração da VALE, as relações de intensidade, duração e frequência correspondentes. A Mina Gongo Soco se encontra na “isozona D” de acordo com a Figura 7 e a Tabela 1, região de igual relação entre as precipitações de diferentes durações, conforme descrito por Taborga (1974). Essa isozona tem seu comportamento de chuvas intensas tipificado por zonas de transição entre as influências marítima e continental. A Tabela 2 demonstra tempo de retorno para as chuvas, segundo o estudo de Pinheiro (2011).

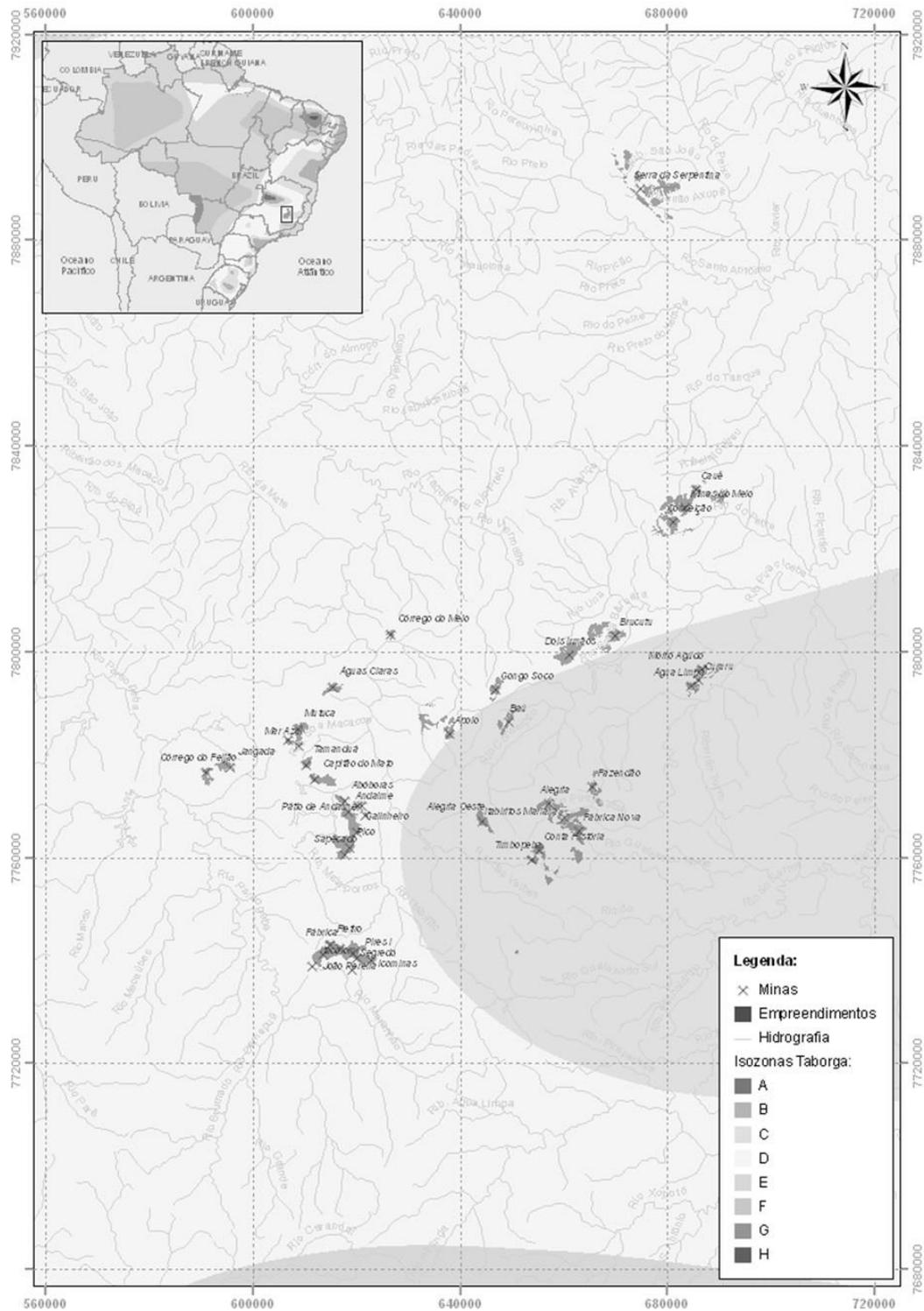


Figura 7 - Isozonas de igual relação entre as precipitações de diferentes durações na área de abrangência dos estudos (PINHEIRO, 2011)

Tabela 1 - Valores da precipitação média anual e do index-flood utilizados para o cálculo das relações IDF na área de abrangência da DIFL e DIFS. Adaptado de Pinheiro, (2011).

Mina	Isozona	PMA (mm)	P ₁ dia (mm)	P ₂₄ horas (mm)	P ₂ dias (mm)	P ₃ dias (mm)	P ₅ dias (mm)	P ₇ dias (mm)	P ₁₀ dias (mm)	P ₁₅ dias (mm)	P ₂₀ dias (mm)	P ₃₀ dias (mm)
Gongo Soco	D	1450	82,5	90,7	116	142	183	216	258	315	364	445

Tabela 2 - Altura Pluviométrica PT, d (mm) na mina Gongo-Soco (PINHEIRO, 2011).

Duração <i>d</i>	Tempo de retorno <i>T</i> (anos)										
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000	10.000
6 min	9,67	12,3	14,0	15,7	16,2	17,8	17,4	18,8	20,7	22,1	26,9
10 min	15,7	19,8	22,5	25,0	25,8	28,3	29,0	31,3	34,2	36,3	43,4
15 min	20,4	25,7	29,2	32,4	33,4	36,5	38,3	41,2	44,9	47,6	56,6
20 min	23,8	30,0	33,9	37,6	38,8	42,4	44,9	48,2	52,5	55,7	65,9
30 min	28,6	35,9	40,6	45,0	46,5	50,7	54,1	58,1	63,2	66,9	79,1
1 hora	36,7	46,1	52,1	57,7	59,5	64,8	70,0	75,1	81,6	86,3	102
2 horas	47,5	60,0	68,0	75,6	78,1	85,4	92,6	99,7	109	116	138
3 horas	53,9	68,1	77,3	86,1	88,9	97,4	106	114	125	133	159
4 horas	58,4	73,8	84,0	93,6	96,7	106	115	124	136	145	174
6 horas	64,7	82,0	93,3	104	108	118	128	139	152	162	196
8 horas	69,2	87,7	99,9	112	115	127	138	149	164	175	211
10 horas	72,7	92,2	105	117	121	133	145	157	172	184	223
12 horas	75,5	95,8	109	122	126	139	151	163	180	192	232
18 horas	81,9	104	119	133	137	151	164	178	196	209	253
24 horas	86,4	110	125	140	145	159	174	188	207	221	269
2 dias	110	141	162	181	188	207	226	245	270	289	351
3 dias	135	173	197	221	229	252	275	298	328	351	428
5 dias	174	222	253	283	293	322	352	381	419	449	545
7 dias	206	262	298	334	345	380	414	448	493	527	641
10 dias	246	311	354	396	409	449	489	530	582	622	755
15 dias	300	381	435	487	503	553	604	653	719	769	934
20 dias	347	438	499	558	576	633	690	746	821	877	1064
30 dias	424	533	604	673	695	762	829	895	983	1049	1269

- Pedologia Regional: Para a análise pedológica da cava e pilha foi utilizada o Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, como demonstrado na Figura 8. Este mapa é disponível na página web do Departamento de Solos da UFV.

4. RESULTADOS

A cava da Mina de Gongo Soco é dividida em setores — Talude Norte e Sul — que possuem subsetores cada como apresentado nas Figura 9 a Figura 11. O entendimento destes setores é essencial para determinar as direções do fluxo de drenagem da cava/pilha.



Figura 9 - Setorização geotécnica da cava e pilha.

Fonte: Vale

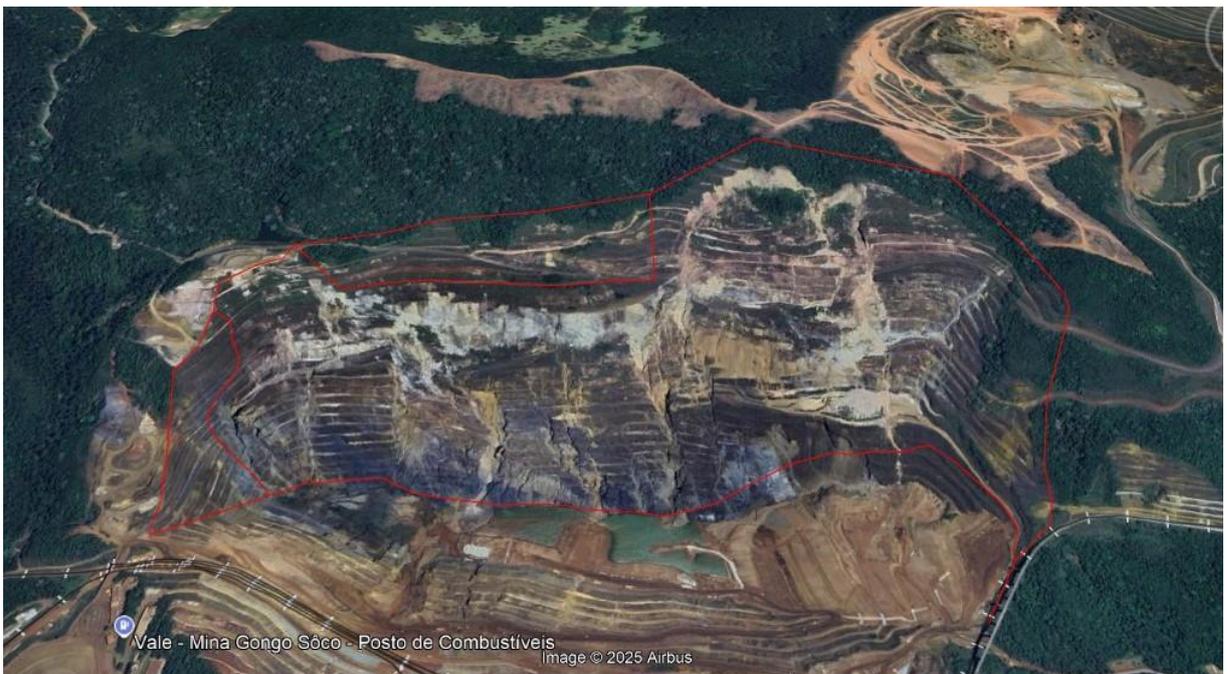


Figura 10 - Setor Norte da cava e pilha.



Figura 11 - Setor Sul da cava e pilha.

4.1. Dados de Entrada

Após geração da superfície deu-se início ao processo de análise da drenagem via ferramenta Enviro. A parte utilizada para fazer esta análise é o Catchment Analysis. Os dados iniciais utilizados foram da superfície criada na etapa anterior. O tamanho da mínimo da célula foi a metade do tamanho da berma, conforme a recomendação do fabricante do software, de forma conservadora, foi utilizado o tamanho de célula de 1,5 que compreende 25% do tamanho da berma.

Após a configuração dos dados da superfície foi configurada os parâmetros para criação das bacias hidrográficas e os fluxos de água:

- Área mínima adotada para captação do fluxo: 500 m²;
- Comprimento mínimo adotado das linhas de drenagem: 5 m;
- Capacidade mínima adotada de volume para o acúmulo de água: 50 m³.

Os dois passos iniciais de *inputs* descritos acima são apresentados na Figura 12.

Catchment Analysis

Area inputs

Surface layer: SOLIDO

Null grid value: 99,999 Grid cell size: 1.5 Check surface

Limit to boundary polygon:

Apply subsurface pipes:

Model parameters

Minimum stream catchment area: 500 m² Minimum stream length: 5 m

Route flow over pits smaller than: 50 m³

Figura 12 – Model Parameters

O terceiro passo foi a definição dos outputs gerados pela análise de drenagem, a primeira aba define qual *layer* será retornado os resultados da análise de drenagem, em seguida a escolha de retorno das linhas de drenagem e suas cores, após e escolhido a informações de resultados informadas:

- Sólidos e polígonos com a capacidade de armazenamento por bacia;
- Setas de conexão/direção entre captação de bacias;
- Pontos de Derramamento – Escoamento;
- Pontos de Acúmulo.

Embaixo desta aba está a de *outputs* gráficos - superfícies que são eles:

- Grid regular da superfície inicial;
- Grid da superfície final condicionada;
- Grid da superfície com acumulação de fluxo;
- Superfície inicial colorida pela acumulação de fluxo.

Todas as opções de *outputs* foram selecionadas como demonstrado na Figura 13.

Catchment outputs | Waterflows to query | Sediment basin volume

Parent layer: ANALISE

Drainage flow lines

Coloring method: SingleLightBlueColor

Color using attribute: CatchmentNumber

Add stream order: Strahler

Catchment information

Spill and fill points Sink points

Storage capacity solids and polygons Catchment connection arrows

Surfaces

Initial regular grid (if generated) Final conditioned grid

Flow accumulation grid Input surface colored by flow accumulation

Figura 13 - Catchment Outputs

Na aba seguinte está a parte de *waterflows to query* que está relacionado à análise de regiões de interesse utilizando um ponto ou polígono, a Figura 14 apresenta os inputs selecionados.

Figura 14 - Inputs Waterflows to query

Nesta seção serão gerados os seguintes *outputs*:

- *Upstream sub-catchments*: Gera a região de captação a montante da sub-bacia. Além disso, o processo gera uma polilinha de caminho de fluxo mais longo da região a montante;
- *Downstream flows*: Gera a região de captação dos fluxos de água a jusante da sub-bacia.
- *Rain event water Storage Solids*: Gera sólidos que representam o volume aproximado do escoamento do evento de chuva gerado a montante da região que está sendo analisada;
- *Write 'Sediment basin volume' parameters to sub-catchment polygons and rain storage solids*: Serve para escrever os parâmetros de entrada na aba Sediment basin, volume como atribuídos nos polígonos de saída da sub-bacia a montante e os sólidos de armazenamento de água do evento de chuva.

A última aba e a *Sediment basin volume*, esta é uma ferramenta interativa de modelamento do fluxo de água para permitir a estimativa rápida do volume de bacias/represas/lagoas necessárias para conter o escoamento de eventos extremos de chuva e o acúmulo contínuo de sedimentos por erosão à medida que a forma da terra evolui.

Os volumes da bacia de sedimentos são modelados pela soma de dois componentes:

- 1 - O volume necessário para armazenar o escoamento superficial de um evento de chuva extrema, e;

2 - O volume de sedimentos previsto ao longo do tempo por um modelo de evolução do relevo (ausência de remoção por eventos de desassoreamento).

O primeiro *input* realizado para esta parte e o modelo de precipitação do estudo de Pinheiro (2011) para a mina de Gongo Soco como demonstrado na Figura 15, o segundo *input* e o de eventos de chuvas específico que foi estudado neste trabalho, o terceiro *input* e na aba *accumulated sediment* para determinar o volume de sedimentos nos cenários de chuvas.

Figura 15 - Rainfall model

Atualmente, a Equação Universal de Perda de Solo Revisada, o RUSLE é suportado pela ferramenta ENVIRO, pois é uma fórmula amplamente usada para estimar o volume de movimento do solo em resposta às chuvas.

Para isso se faz necessário a entrada dos fatores que irão determinar o volume de sedimentos transportados no cenário, que incluem a Erodibilidade do solo (K), a Cobertura Vegetal (C) e a Prática de Controle de Erosão (P).

O fator K é uma estimativa da habilidade do solo de resistir a energia de erosão devido às chuvas. Quando possível, os valores de erodibilidade local utilizados devem ser calculados em laboratório. Estimativas dos valores prováveis são apresentados na . O escolhido foi 0,012, segundo o mapa gerado por autoria própria com auxílio do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais apresentado na Figura 16. O tipo de solo encontrado na cava e o LVdf3 que tem sua descrição na Figura 17 onde apresenta uma textura muito argilosa, então para fins de conservadorismo foi adotado o maior valor possível de argila estimado.

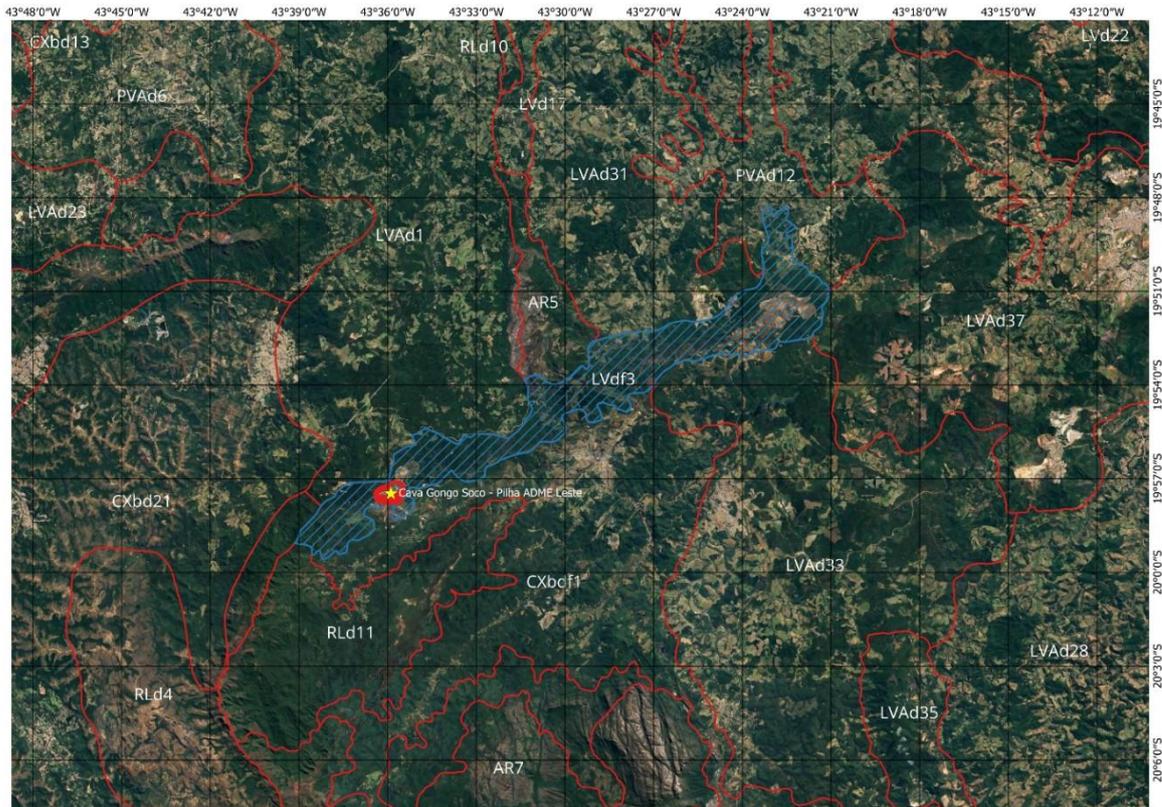


Figura 16 - Mapa Pedológico da Região da mina Congo Soco.

LVdf3 - LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (55 %) + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado, textura arenosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo montanhoso (30 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (15 %).

Figura 17 – Descrição da região pedológica segundo o Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, 2010).

Tabela 3 - Soil Erodibility Factor
 Fonte: Adaptado de Rosewell (1993)

Fator de Erodibilidade do Solo (K)			
Textura do Solo	Símbolo	Conteúdo estimado de argila (%)	Fator K [1]
Areia	S	< 10	0,015
Areia Argilosa	CLS	5–10	0,025
Areia Limosa	LS	5–10	0,020
Franco Arenoso	SL	10–15	0,030
Franco Arenoso Fino	FSL	10–20	0,035
Franco Argilo-Arenoso	SCL	15–20	0,025
Franco	L	cerca de 25	0,040
Franco, Arenoso Fino	Lfsy	cerca de 25	0,050
Franco Siltoso	SiL	cerca de 25 e mais de 25% silte	0,055
Franco Argilo-Arenoso	SCL	20–30	0,043
Franco Argiloso	CL	30–35	0,030
Franco Argilo-Siltoso	SiCL	30–35 e mais de 25% silte	0,040
Franco Argilo-Arenoso Fino	FSCL	30–35	0,025
Argila Arenosa	SC	35–40	0,017
Argila Siltosa	SiC	35–40 e mais de 25% silte	0,025
Argila Leve	LC	35–40	0,025
Argila Média Leve	LMC	40–45	0,018
Argila Média	MC	45–55	0,015
Argila Pesada	HC	> 50	0,012

O fator de cobertura (C) é uma razão de perda de solo com quantidades variáveis de condições de cobertura vegetativa.

Um valor de C igual a 1 representa terrenos que foram recentemente danificados, sem cobertura de grama, enquanto um valor de C igual a zero é para terrenos com 100% de cobertura de grama (Gráfico 1). Foi utilizado como parâmetro de cobertura, C igual a 1, pois a cava e a pilha não estão revegetadas, com o solo exposto.

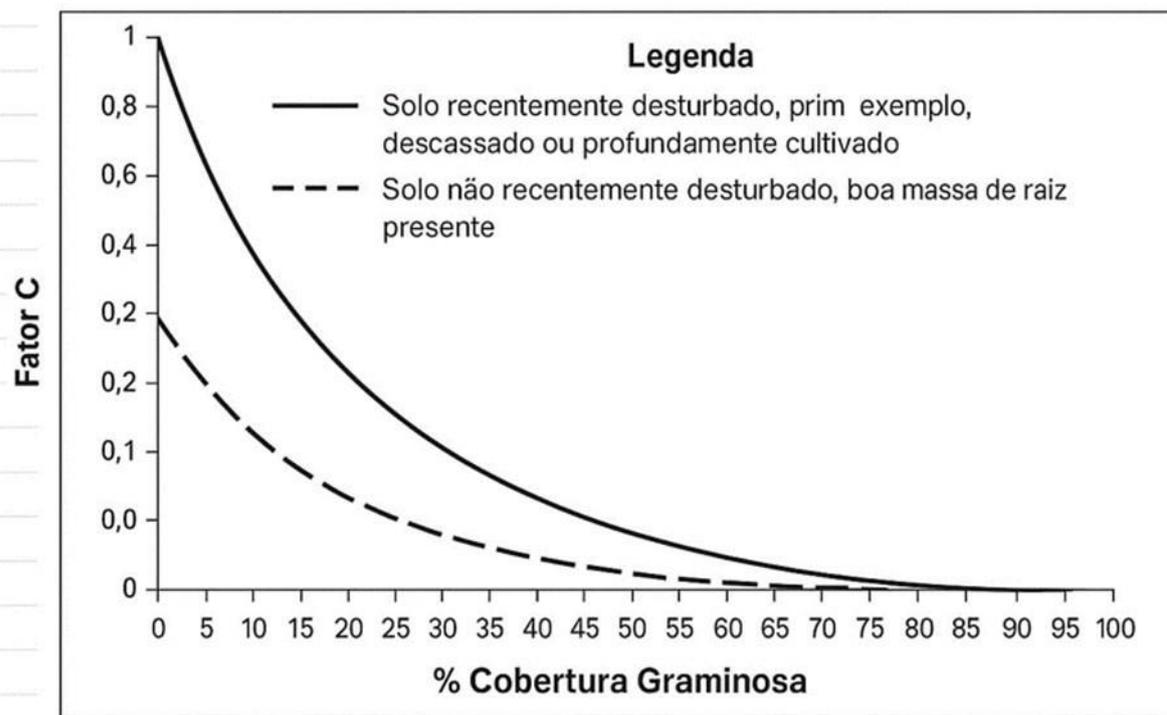


Gráfico 1 - Fator de cobertura do solo
Fonte: Adaptado de Rosewell (1993)

O fator P, de Prática de Controle de Solo, é uma razão de perda dependente da condição da superfície do solo. As superfícies lisas e compactas do solo terão um valor de P mais alto do que as superfícies rugosas. Tabela 4 mostra os valores de P em função da condição de superfície do solo.

Tabela 4 - Condição da superfície do solo
Fonte: Adaptado de Rosewell (1993)

Fator de Prática de Controle de Erosão (P)	
Condição da Superfície	Fator P
Compactada e lisa	1.3
Caminho ao longo do contorno	1.2
Caminho subindo e descendo a encosta	0.9
Palha perfurada	0.9
Solto até 0.3 metros de profundidade	0.8

O valor definido para utilização na análise foi 0,8, pois a cava se encontra sem cobertura vegetal, exposta ao intemperismo e pouco compacta.

O último dado se refere a quantidade de desassoreamento que são feitos por ano e, segundo a VALE, não é feito desassoreamentos no fundo da cava. Porém por questões de limitação do *software* e como ele traz os resultados e necessário a indicação de no mínimo 1 desassoreamento por ano.

Os *inputs* selecionados para esta aba são apresentados na Figura 18 e os *outputs* retornados correspondem ao volume de sedimento acumulado, ao volume de água acumulado e ao volume total.

The screenshot displays the 'Sediment basin volume' configuration window, divided into two main sections:

- Rainfall event containment:**
 - Rainfall intensity (I): 9.67
 - Recurrence interval: 2 ANOS
 - Duration: 6 MIN
 - Volumetric runoff coefficient (VRC): 0.56
- Accumulated sediment:**
 - Landform evolution model: RUSLE
 - Rainfall intensity (I): 9.67
 - Recurrence interval: 2 ANOS
 - Duration: 6 MIN
 - Number of desilting events per year: 1.00

Below these sections is a 'Surface factors' panel with the following settings:

- Soil erodibility (K): 0.012
- Vegetative cover (C): 1.000
- Erosion control practice (P): 0.800
- Define surface factors using polygons: [Empty field]
- K factor attribute: K (Soil Erodibility)
- C factor attribute: C (Vegetative Cover)
- P factor attribute: P (Erosion Control Practice)

Figura 18 - Inputs - Sediment basin volume

4.2. Cenários gerados

O primeiro cenário gerado (sem evento de chuva) sem os dados utilizados na aba *waterflows to query* e *sediment basin volume*. Posteriormente, será gerado o segundo cenário, para o evento de chuva de 2 anos com duração de 6 minutos, ou seja, com uma intensidade de chuva de 9,67 mm/h. As Figura 19 a Figura 25 apresentam os resultados da análise sem os dados da aba *waterflows to query* e *sediment basin volume* e após, é apresentada nas Figura 26 a Figura 29 os resultados com a TR que tem seu foco nos lagos do fundo da cava.

A Figura 19 apresenta as linhas de drenagem criadas no cenário através da topografia original. Na Figura 20 os pontos marcados mostram locais de derramamentos das bacias.

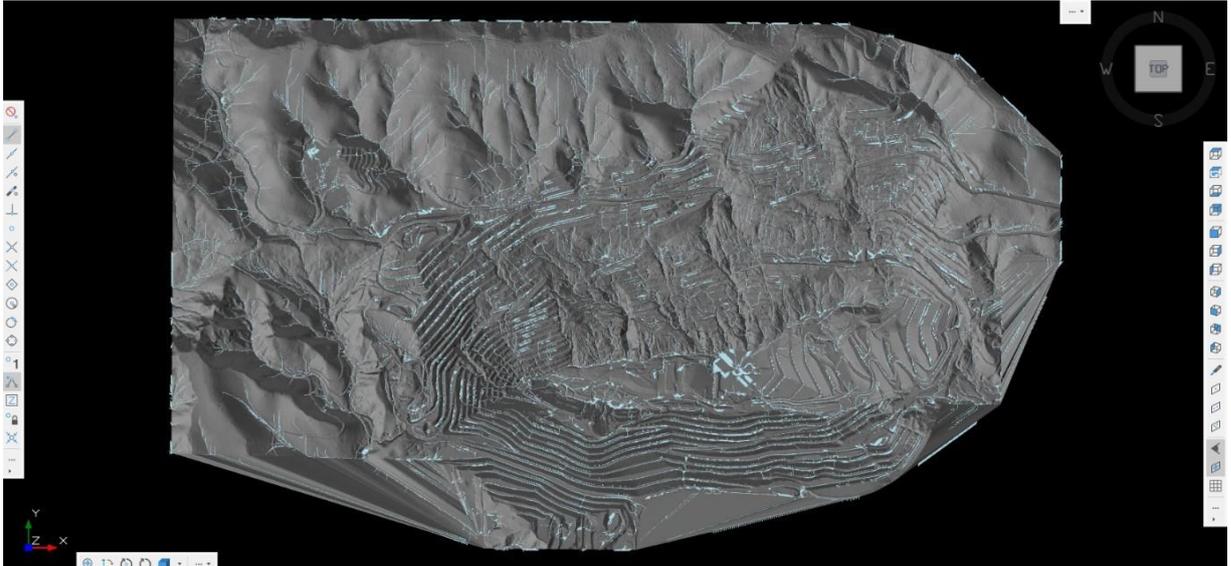


Figura 19 - Linhas de drenagem da análise.

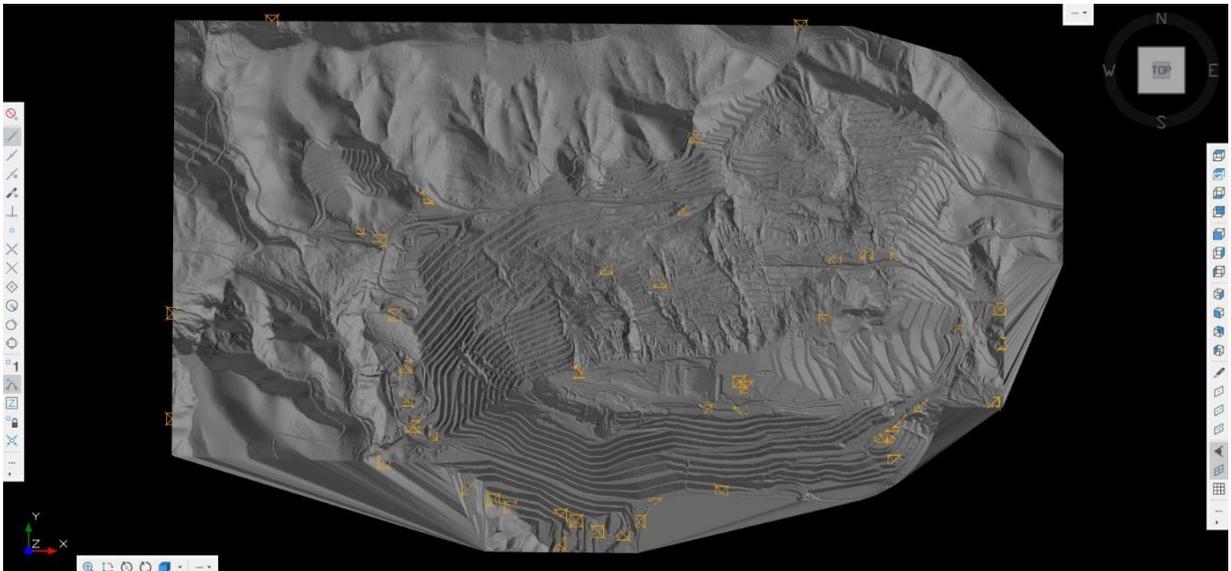


Figura 20 – Pontos de derramamentos das bacias criadas na análise.

A Figura 21 apresenta os pontos de acúmulo das bacias criadas pela análise do software. Na Figura 22 demonstra os pontos de conexão entre as bacias.

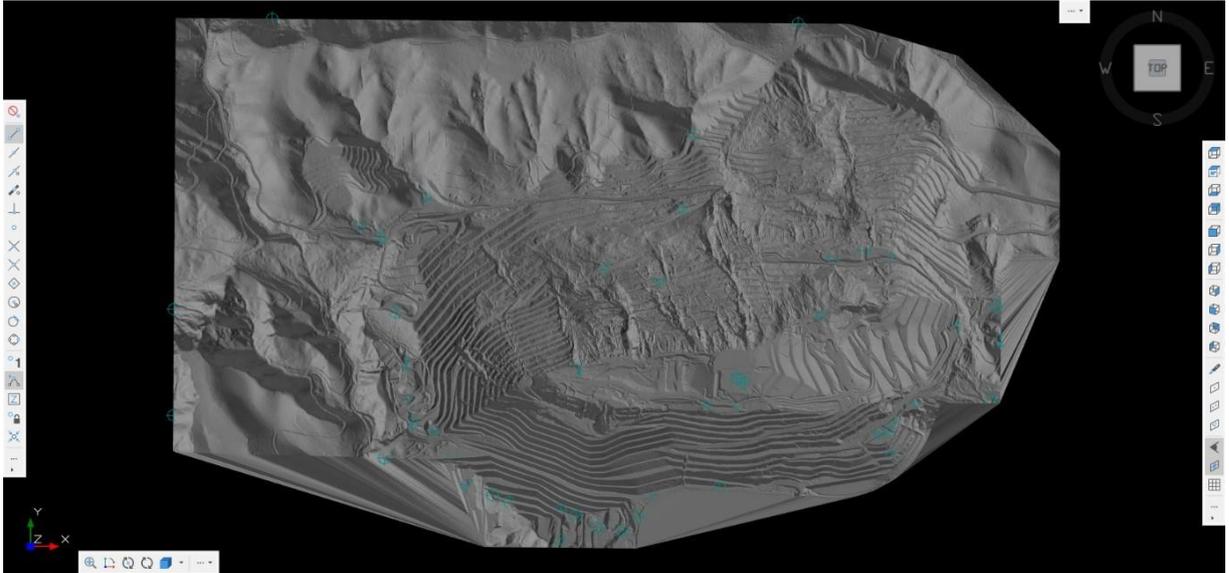


Figura 21 – Pontos de acúmulos das bacias.

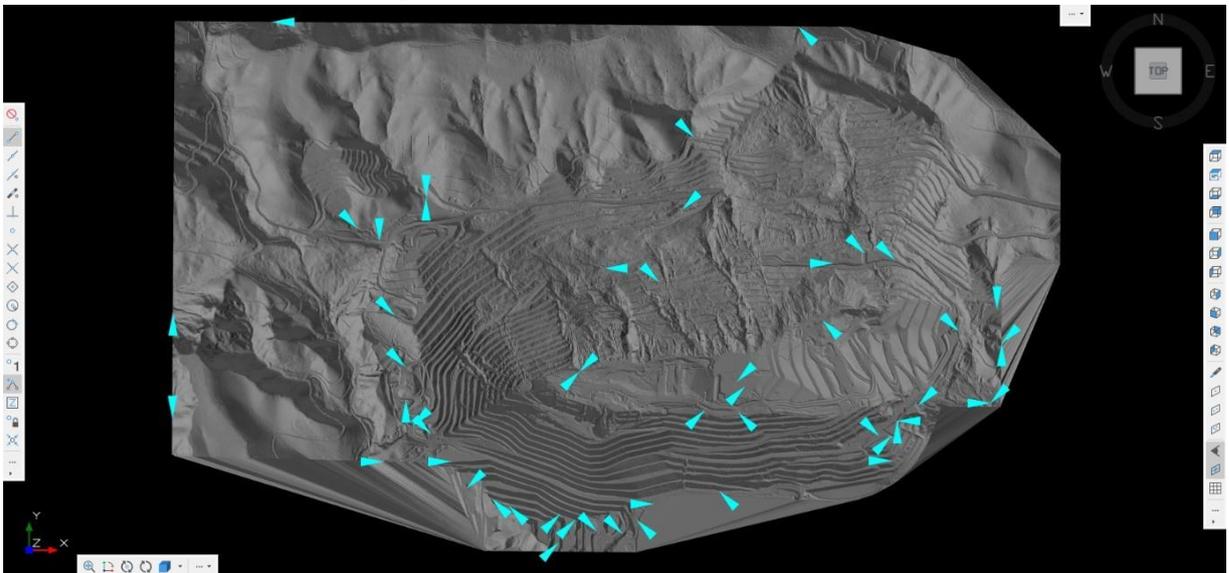


Figura 22 – Setas e conexão entre as bacias.

A Figura 23 apresenta os polígonos dos pontos de empoçamento criados pelo software, na Figura 24 são os sólidos destes mesmos polígonos.

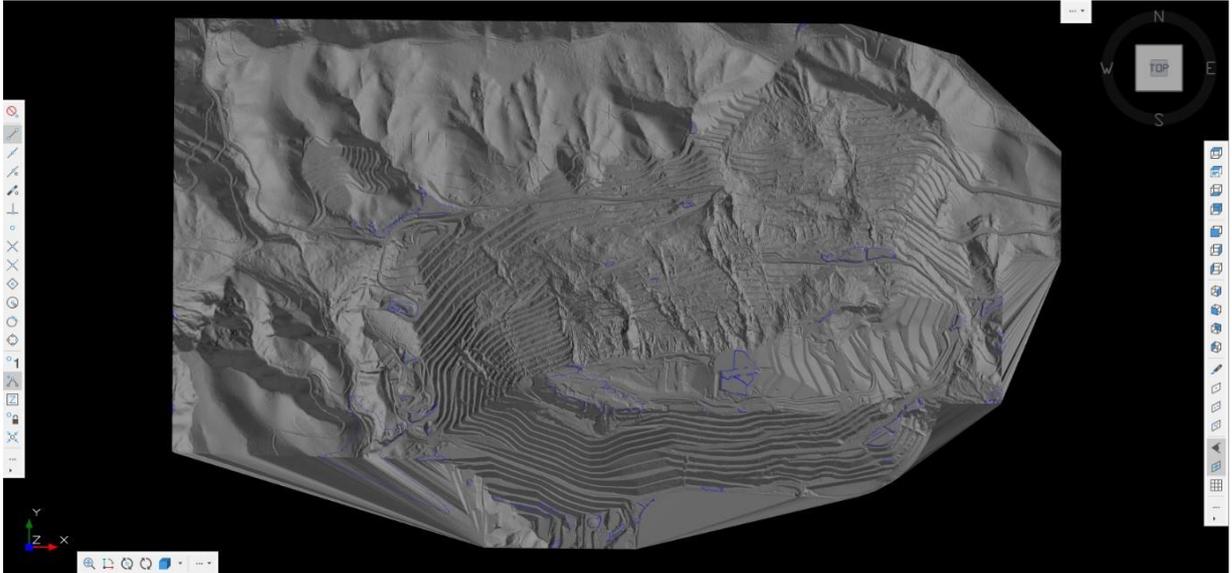


Figura 23 – Polígonos gerados pelo acúmulo de água.

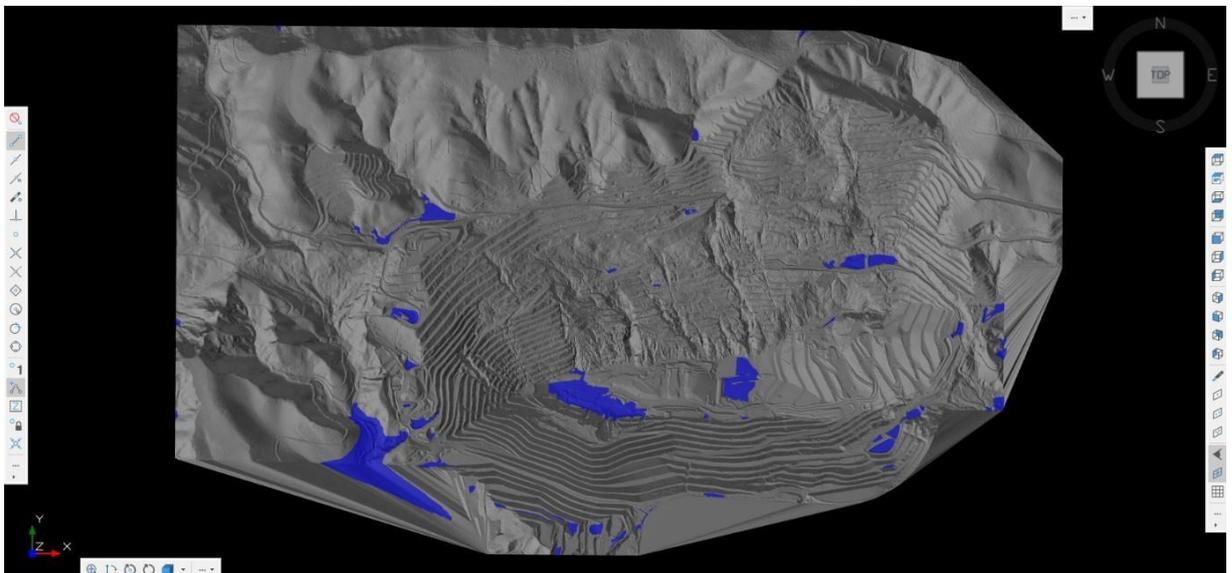


Figura 24 – Sólidos gerados pelo acúmulo de água.

A Figura 25 apresenta a superfície colorida com base na acumulação do fluxo de água, onde as cores mais azuladas é onde ocorre a maior concentração de fluxo.

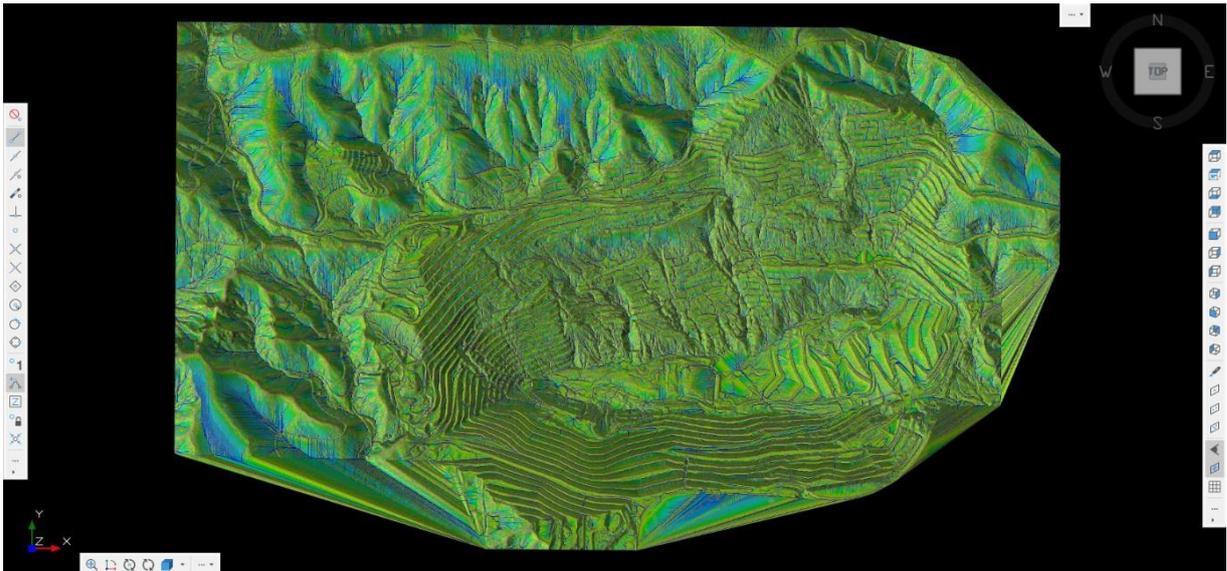


Figura 25 – Superfície colorida com base na acumulação dos fluxos.

A Figura 26 e Figura 27 apresenta os resultados obtidos pela análise feita para o lago oeste da cava de Gongo Soco e para o caminho mais longo de fluxo de drenagem até o lago oeste.

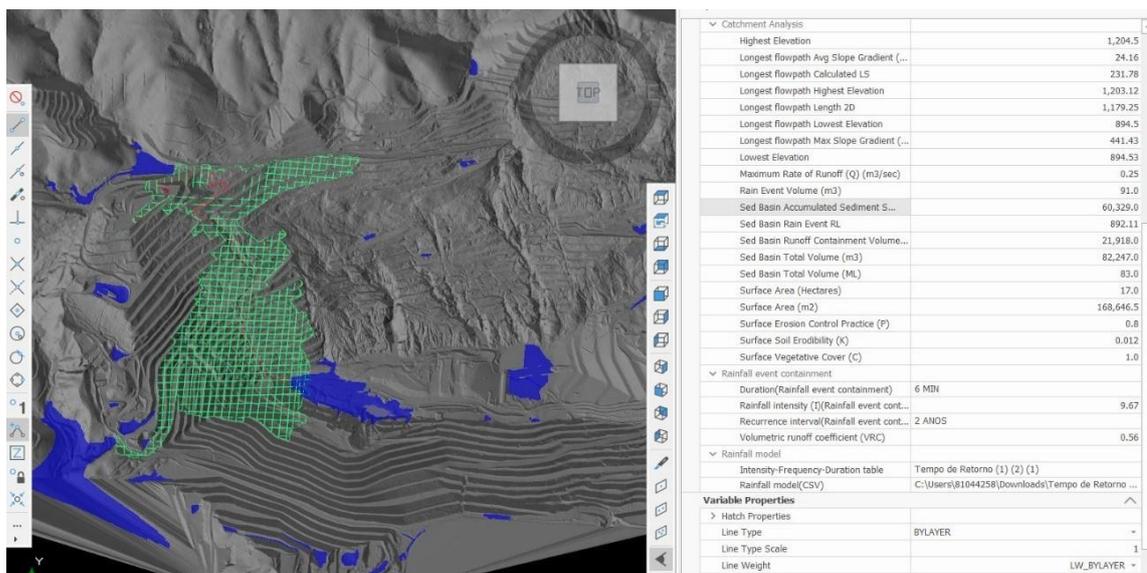


Figura 26 – Análise lago oeste da cava.



Figura 27 - Caminho mais longo do lago oeste da cava.

A Figura 28 e Figura 29 apresenta os resultados obtidos pela análise feita para o lago leste da cava de Gongo Soco e para o caminho mais longo de fluxo de drenagem até o lago leste.

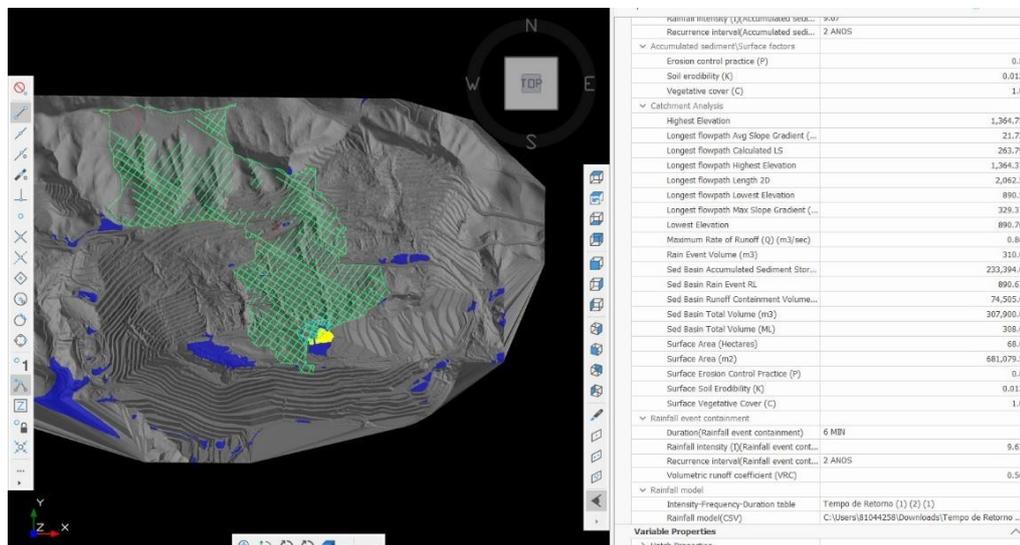


Figura 28 – Análise lago leste da cava.

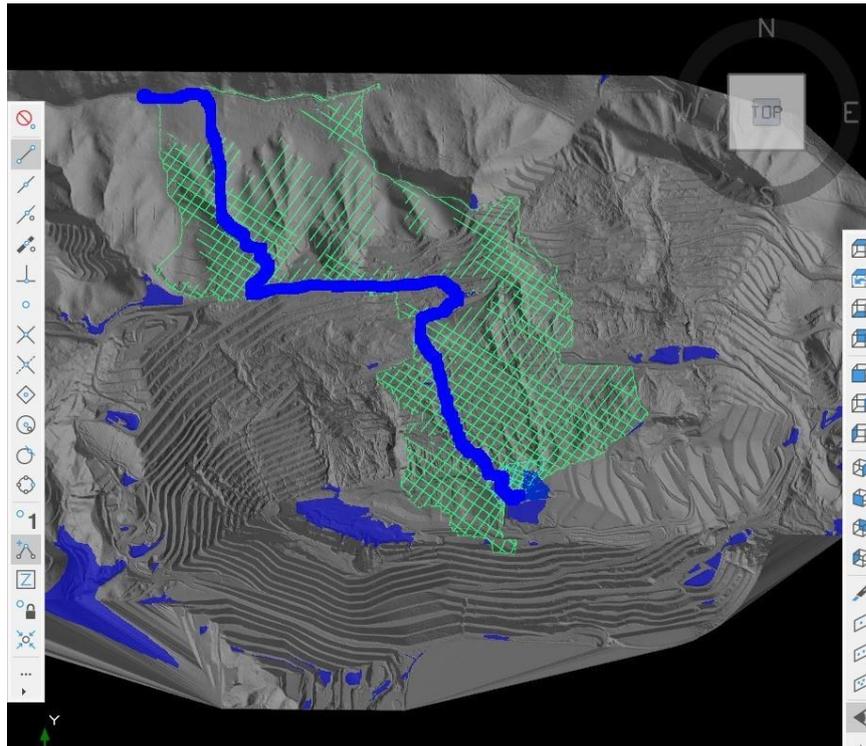


Figura 29 - Caminho mais longo do lago leste da cava.

4.3. Análise do primeiro cenário (sem evento de chuva)

Para a demonstração e análise por limitação de qualidade de imagem, a cava foi dividida em 4 setores, seguindo a setorização da VALE atual apresentado na Figura 9. Então a seguinte setorização foi realizada, cava sul a esquerda (4,5,6,7,8), cava sul a direita (1,2,3,9,10,11), cava norte a esquerda (N3, N2), cava norte a direita (N1) e pilha ADME Leste (12,13), como apresentado na Figura 9.

O primeiro ponto observado foi as drenagens percorrendo a face do talude. Para evitar danos na face do talude, a drenagem construída em uma cava é projetada para impedir o escoamento direto das águas superficiais sobre essa área. Este defeito na drenagem pode-se notar em quase todos os setores, apenas na pilha ADME Leste não foi encontrado tal deformidade. Abaixo as Figura 30 a Figura 34 apresentam estes pontos, considerados de defeitos.

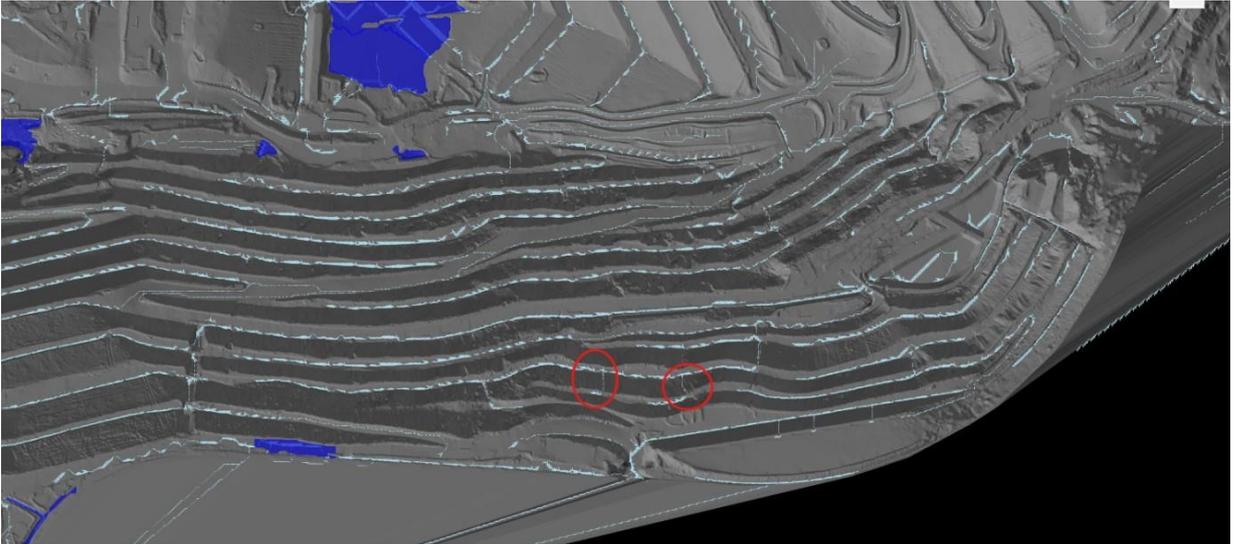


Figura 30 - Drenagem na face do talude - Cava Sul a direita.

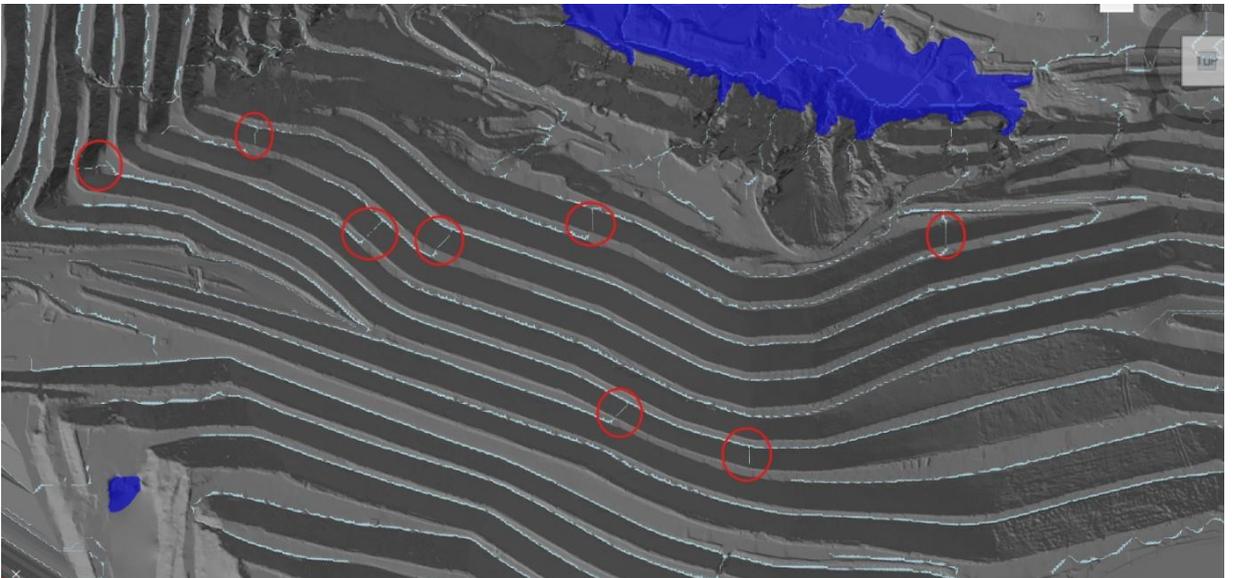


Figura 31 - Drenagem da face do talude - Cava Sul a esquerda.

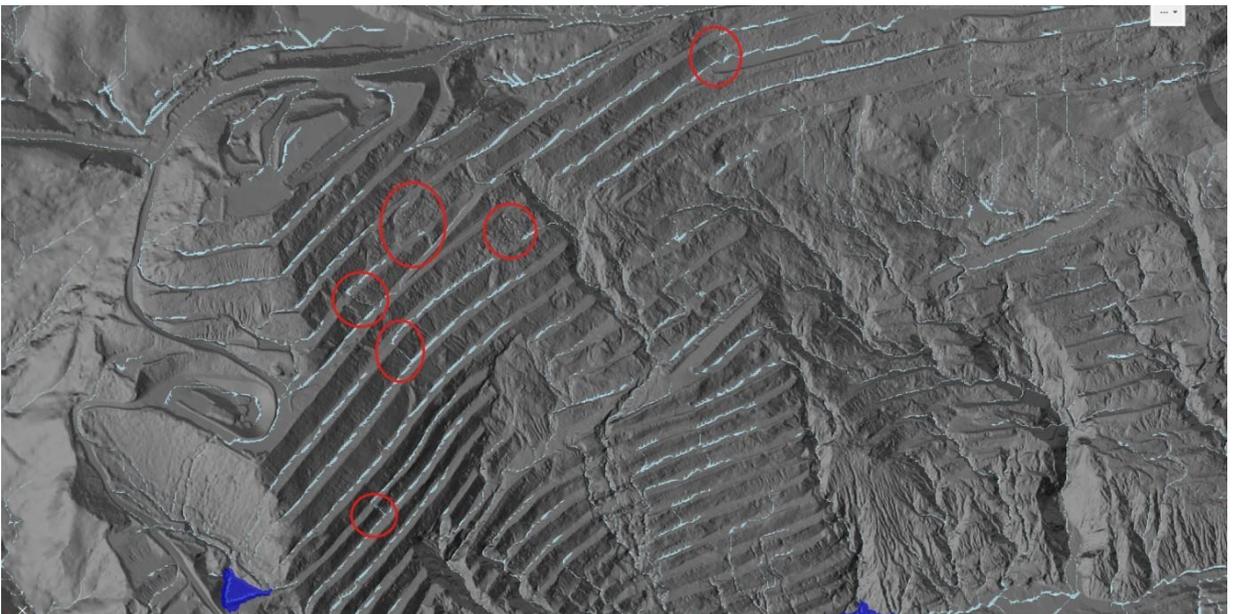


Figura 32 - Drenagem na face do talude - Cava Norte a esquerda.



Figura 33 - Drenagem na face do talude - Cava Norte a direita.

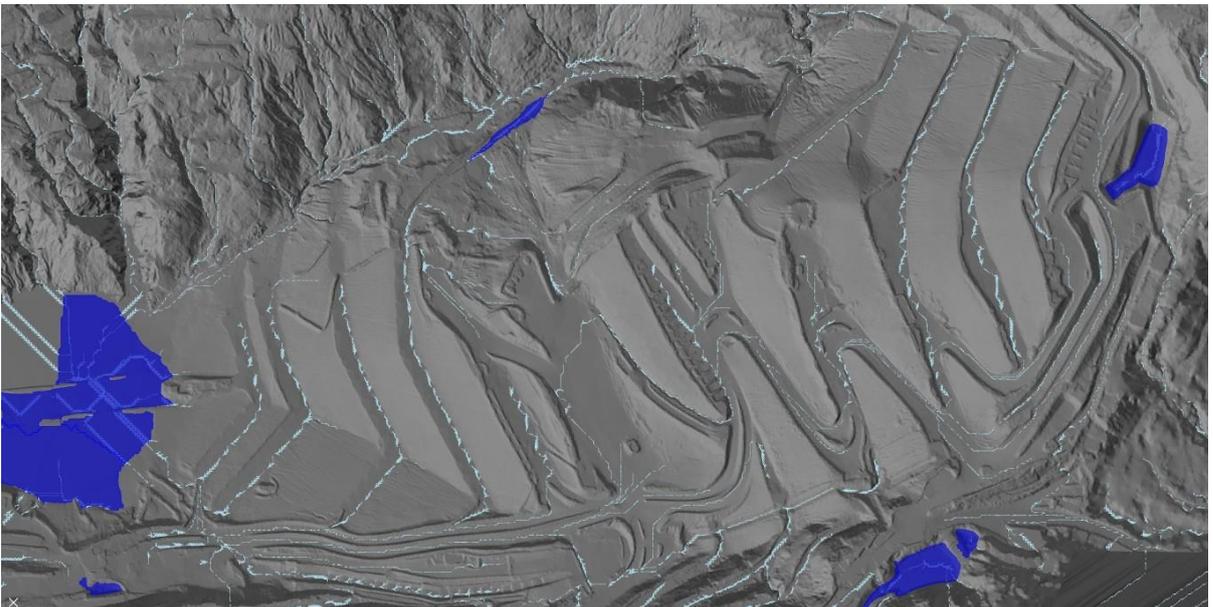


Figura 34 - Drenagem na face do talude - ADME Leste.

O próximo ponto de destaque tem relação aos empoçamentos ocorridos por falhas de drenagem. Foram identificados pontos de empoçamento em 3 setores (Figura 35 a Figura 37).

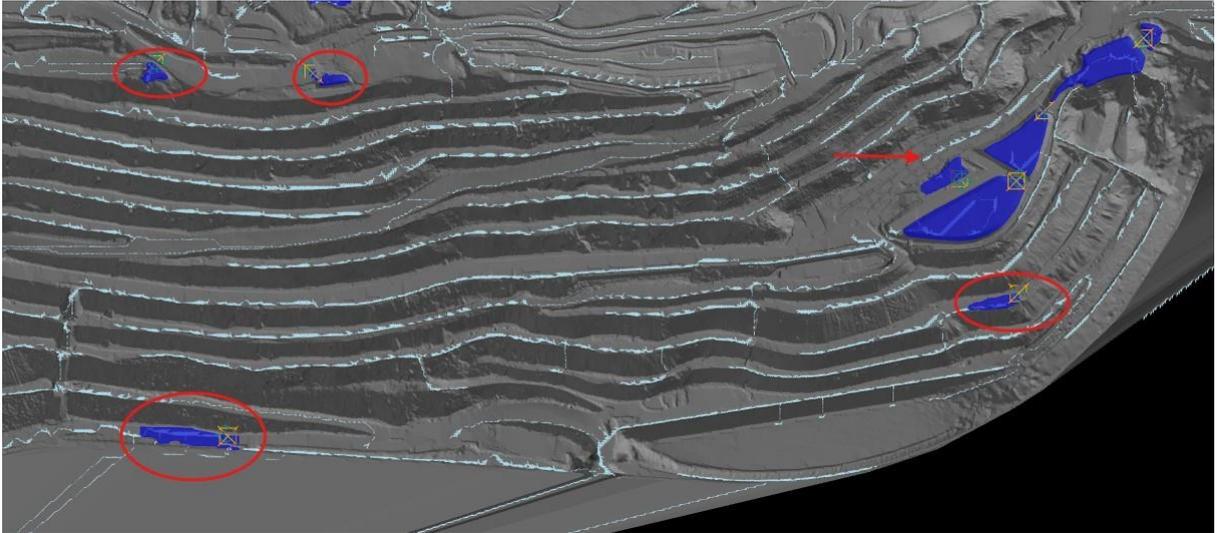


Figura 35 - Empoçamento - Cava Sul a direita.

Na Figura 35 é apresentado um sistema de sump's a direita representada pela seta, em vermelho, e regiões de empoçamento marcado por círculos.

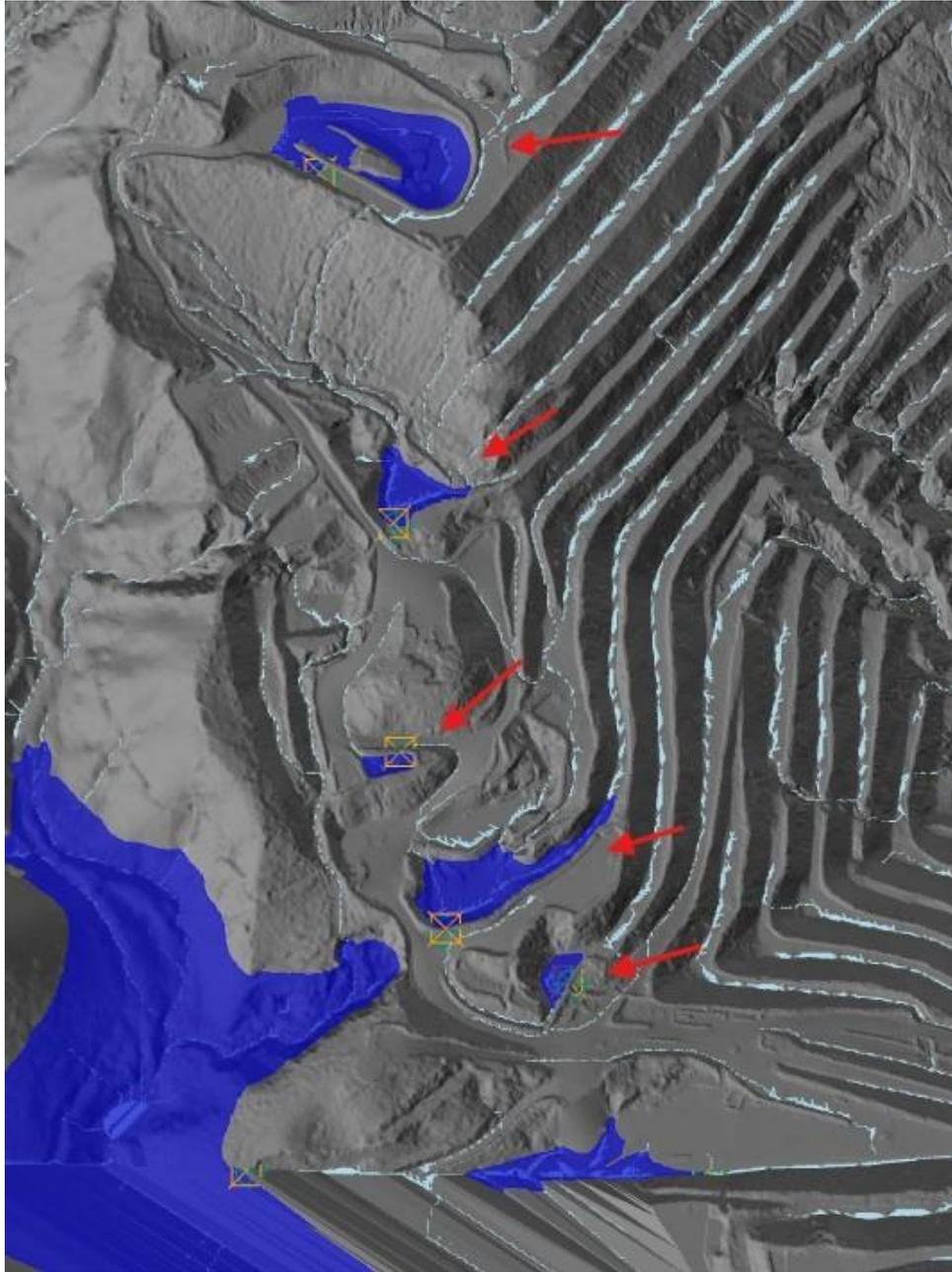


Figura 36 - Empoçamento - Cava Norte a esquerda.

A Figura 36 apresenta um conjunto de sump's representados pelas setas vermelhas, esta região da cava apresenta um alto planejamento para contenção de sedimentos.

O próximo ponto apresenta (Figura 37) a análise da ADME Leste onde se observa o lago no fundo da cava e um pequeno empoçamento (desconsiderável) na sua face com o talude norte da cava e acima um sump de contenção de sedimentos onde o fluxo é direcionado para fora da mina.

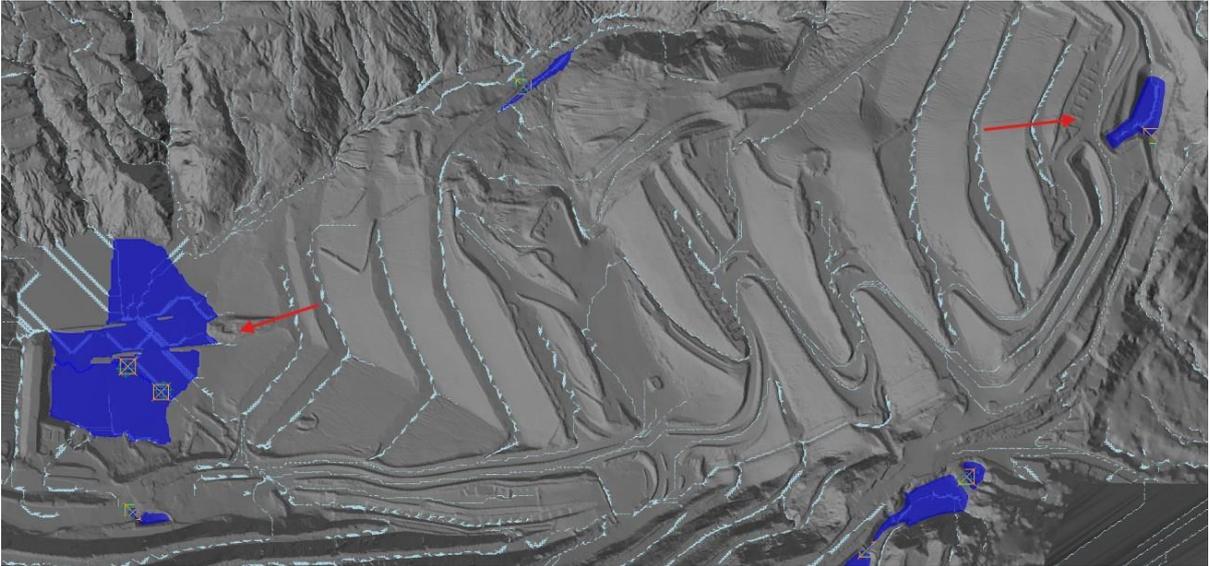


Figura 37 - Empoçamentos - ADME Leste.

O último ponto de destaque são os 2 lagos gerados no fundo da cava (Figura 38). Posteriormente, serão analisadas as quantidades de sedimentos que chegam até o fundo deles.

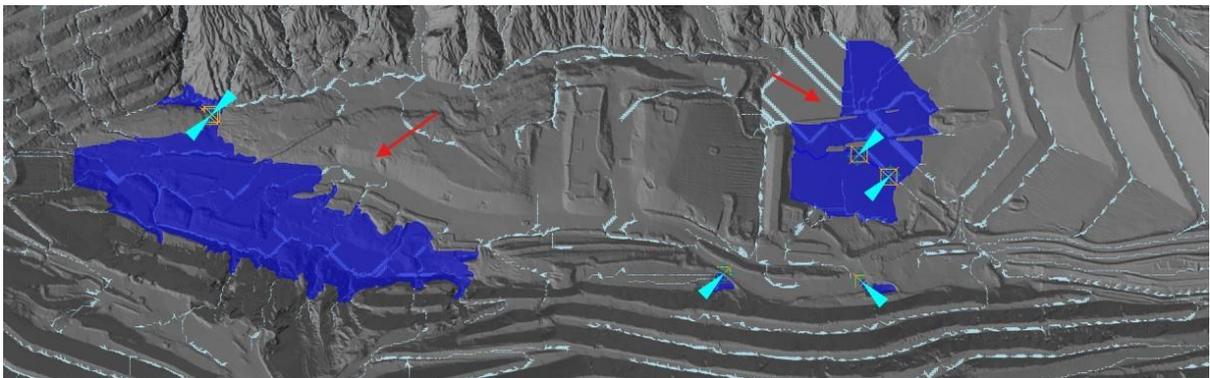


Figura 38 - Lagos gerados do fundo da cava.

4.4. Análise do segundo cenário (Com evento de chuva)

Nesta análise é possível fazer o entendimento da área de influência do caminho mais longo até o reservatório dos lagos com base nestes resultados da análise do evento de chuva:

- *Maximun Rate of Runoff* (Q): Consiste na vazão de água que passa na região analisada;

$$Q = \frac{\text{Rain Event Volume}(m^3)}{\text{Duration}(sec)}$$

- *Rain Event Volume* (m^3): Volume de água da chuva que passa na região analisada;

$$REV = I * Duration * VRC * Surface \frac{\frac{Area * 1 L}{m^2} * 0,001 m^3}{L}$$

- *Sed Basin Accumulated Sediment Storage Volume* (m^3): Volume de sedimento acumulado;
- *Sed Basin Rain Event RL*: Elevação do solido;
- *Sed Basin Runoff Containment Volume* (m^3): Volume de água acumulado;
- *Sed Basin Total Volume* (m^3): Volume de sediment + Volume de água.

As Figura 39 a Figura 40 apresentam os resultados dos lagos oeste e leste. são descritos estes valores.

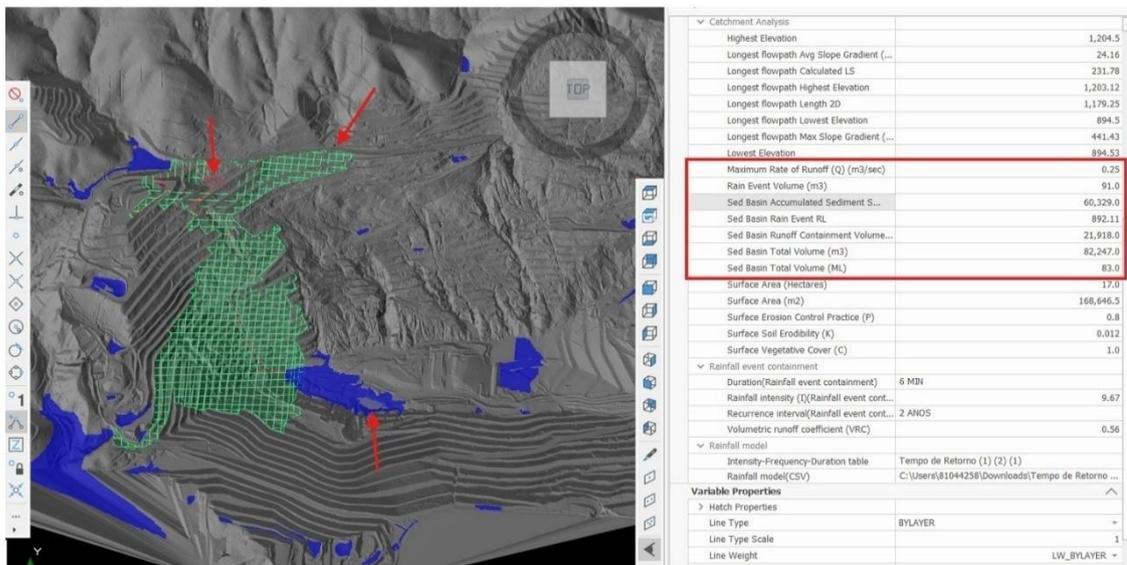


Figura 39 - Resultados do lago oeste

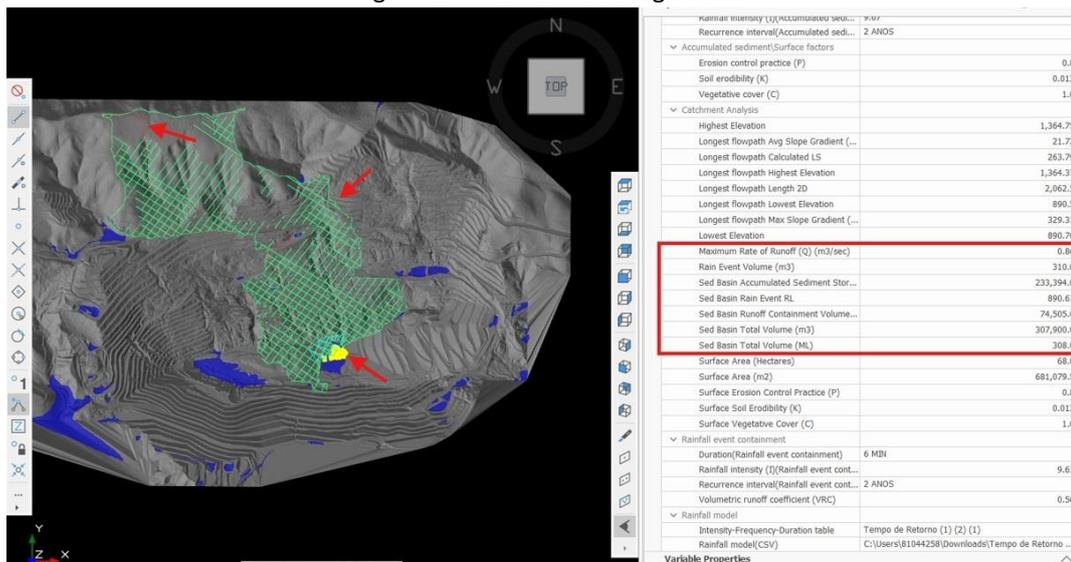


Figura 40 - Resultados do lago leste

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que o volume de água que alimenta o lago leste é 3,4 vezes maior que o volume que flui para o lago oeste apesar de seu reservatório ter capacidade de armazenamento bem maior. Em relação aos sedimentos a situação se agrava mais ainda sendo direcionado 3,9 vezes mais sedimentos ao lago leste que o volume direcionado ao lago oeste.

Tabela 5 - Resultados das análises dos lagos

Lagos	Lago Oeste	Lago Leste
Vazão de água (m^3/sec)	0,25	0,86
Volume de água da chuva (m^3)	91,0	310,0
Volume de sedimento acumulado (m^3)	60.329,0	233.394,0
Elevação do sólido	892,11	890,67
Volume de água acumulado (m^3)	21.918,0	74.505,0
Volume Total (m^3)	83.247,0	307.900,0
Volume Total (ML)	83,0	308,0

4.5. Problemas e Soluções de Drenagem

1. Drenagem na Face do Talude:

Quando o gradiente não direciona a água para as canelas e direciona o fluxo de água para a face do talude, pode causar erosões, as soluções incluem:

- a. Readequar o gradiente para direcionar a água à canaleta de drenagem.
- b. Reparar a leira de segurança para garantir o escoamento correto.

2. Empoçamento de Água na Berma:

Exige correção do gradiente. Como o empoçamento indica alto fluxo concentrado, recomenda-se uma estrutura de maior porte para direcionar a água sem causar empoçamento ou erosão. Soluções complementares incluem:

- a. Construção de descidas de água (concreto/gabião) em trechos críticos ou com bermas muito extensas.
- b. Instalação de tubulações para condução adequada.
- c. Implantação de *sumps* para reduzir fluxo e reter sedimentos.

3. Desequilíbrio Hídrico entre Lagos:

O lago oeste recebe menos água que o lago leste, apesar de sua maior capacidade de armazenamento. Soluções:

- a. Redimensionar o fluxo hídrico para aumentar a vazão direcionada ao lago oeste ou para fora da cava.

- b. Instalar *sumps* para conter sedimentos que seguem para o fundo da cava.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou a complexa temática da drenagem na cava Gongo Soco e na pilha ADME Leste, destacando a importância crítica de um sistema de drenagem robusto para a segurança geotécnica e a sustentabilidade das operações de mineração. A análise detalhada das condições hidrológicas e hidrogeológicas, aliada ao histórico de instabilidades, permitiu a identificação de pontos críticos que exigem atenção imediata.

As soluções propostas neste trabalho visam mitigar os riscos de erosão e ruptura de taludes, considerando as particularidades geológicas da região, como a presença de filito, e os desafios impostos pela disposição de rejeitos no fundo da cava. A aplicação de ferramentas computacionais (Deswik) para simulação e avaliação do cenário atual se mostrou fundamental para embasar as proposições de intervenção, alinhadas às normas técnicas e legais vigentes para a mineração.

É imperativo que as recomendações apresentadas sejam consideradas na gestão contínua da mina, visando não apenas a segurança dos ativos e dos colaboradores, mas também a proteção do meio ambiente e a conformidade com a legislação pertinente. Recomenda-se para estudos futuros a implementação e o monitoramento rigoroso das soluções propostas, bem como a avaliação contínua da dinâmica da drenagem face às mudanças operacionais e climáticas, o que pode incluir o desenvolvimento de modelos preditivos mais avançados e a incorporação de novas tecnologias de sensoriamento e monitoramento em tempo real.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, Valeska Peres de. **Avaliação do comportamento de barragens de rejeitos de mineração utilizando métodos de análise de risco**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

ARAÚJO FILHO, R. N.; HOLANDA, F. S. R.; PEDROTTI, A.; SANTOS, T. O.; LINO, J. B.; ROCHA, I. P. **Influência dos atributos físico-mecânicos do solo na estabilidade do talude do rio São Francisco**. Scientia Agraria, v. 18, p. 107–113, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13029: mineração – elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha**. Atualização 2024 – Consulta Nacional 1. Rio de Janeiro, 2024.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral. Ato do Diretor-Geral do DNPM de 30 de agosto de 2000. Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 31 ago. 2000.

CARNEIRO, B. M, (2021), FAJARDO, K.C.B., FONSECA, M.M E FREITAS, P.M.C. **Sistema de Drenagem Pluvial: um estudo de caso sobre a determinação de vazões para o dimensionamento dos dispositivos em uma obra de implantação de produção de ferro**.

LAMBE, T. William; WHITMAN, Robert V. **Mecânica dos solos**. Tradução da 1ª edição norte-americana. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

LANNA, Antônio Eduardo Leão. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995.

OLIVEIRA, Ana Paula Almeida de; LUZ, Adão Benvindo da. **Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração**. CETEM, 2001.

PFAFSTETTER, O.; NO BRASIL, **Chuvas Intensas. relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957.

PINHEIRO, Mário Cicareli. **Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração**. Porto Alegre: ABRH, 2011.

ROSEWELL, C. J.; EDWARDS, K. SOILOSS. **A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion.**, Technical Handbook No. 11. (Soil Conservation Services: Sydney). **NSW**, v. 108, 1993.

SILVA, Fernando Pereira da; SILVA, Patricia Sousa da; LOPES, Paulo Maurício Silva. **Importância do sistema de drenagem na geotecnia dos taludes em minas a céu aberto**. Revista FT, v. 27, n. 119, 18 fev. 2023.

TEIXEIRA JUNIOR, P. B.; LEITE, C. B. B. **Superficial drainage studies in open-pit mines**. 1984.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49 p.

VIDAL-TORRADO, Pablo; LEPSCH, Igo Fernando; CASTRO, SS de. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 145-92, 2005.