

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 1/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

RELATÓRIO DE PROJETO

RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK)

PROJETO CONCEITUAL

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A

Abril/2021

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 3/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

SUMÁRIO

1.0	APRESENTAÇÃO	4
2.0	SUMÁRIO EXECUTIVO.....	5
3.0	OBJETIVO	10
4.0	DADOS BÁSICOS	11
4.1	PROJETOS DE REFERÊNCIA.....	11
4.2	TOPOGRAFIA.....	12
5.0	DESCRIÇÃO DA BARRAGEM 1 E ESTRUTURAS ASSOCIADAS	13
5.1	LOCALIZAÇÃO.....	13
5.2	ARRANJO GERAL	14
5.3	CURVAS COTA X VOLUME DOS RESERVATÓRIOS	17
6.0	DESCRIÇÃO DA ÁREA A JUSANTE	20
7.0	METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS	21
8.0	DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	22
8.1	CENÁRIO TEMPORAL	22
8.2	CENÁRIO LOCACIONAL DO PONTO DE RUPTURA	23
8.3	DEFINIÇÃO DO MODO DE FALHA	24
8.4	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	32
9.0	ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA.....	33
9.1	HIDROGRAMAS DE RUPTURA	33
9.2	PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE RUPTURA	40
9.3	MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO	47
9.4	RESULTADOS DOS ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA.....	49
10.0	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL	54
11.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
12.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	APÊNDICE A – DESENHOS	59

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 4/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

1.0 APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta a revisão do estudo de ruptura hipotética para o cenário crítico em termos da evolução temporal da operação e da locação do ponto de falha da Barragem 1, de rejeitos, conforme apresentado no documento “MINA_BLC8007-1010-G-RE-36”. A Barragem 1 está inserida no Projeto Bloco 8. A Figura 1.1 ilustra as estruturas componentes do referido complexo conforme projetadas (documentos MINA_BLC8007-1010-G-RE-29 a MINA_BLC8007-1010-G-RE-32).

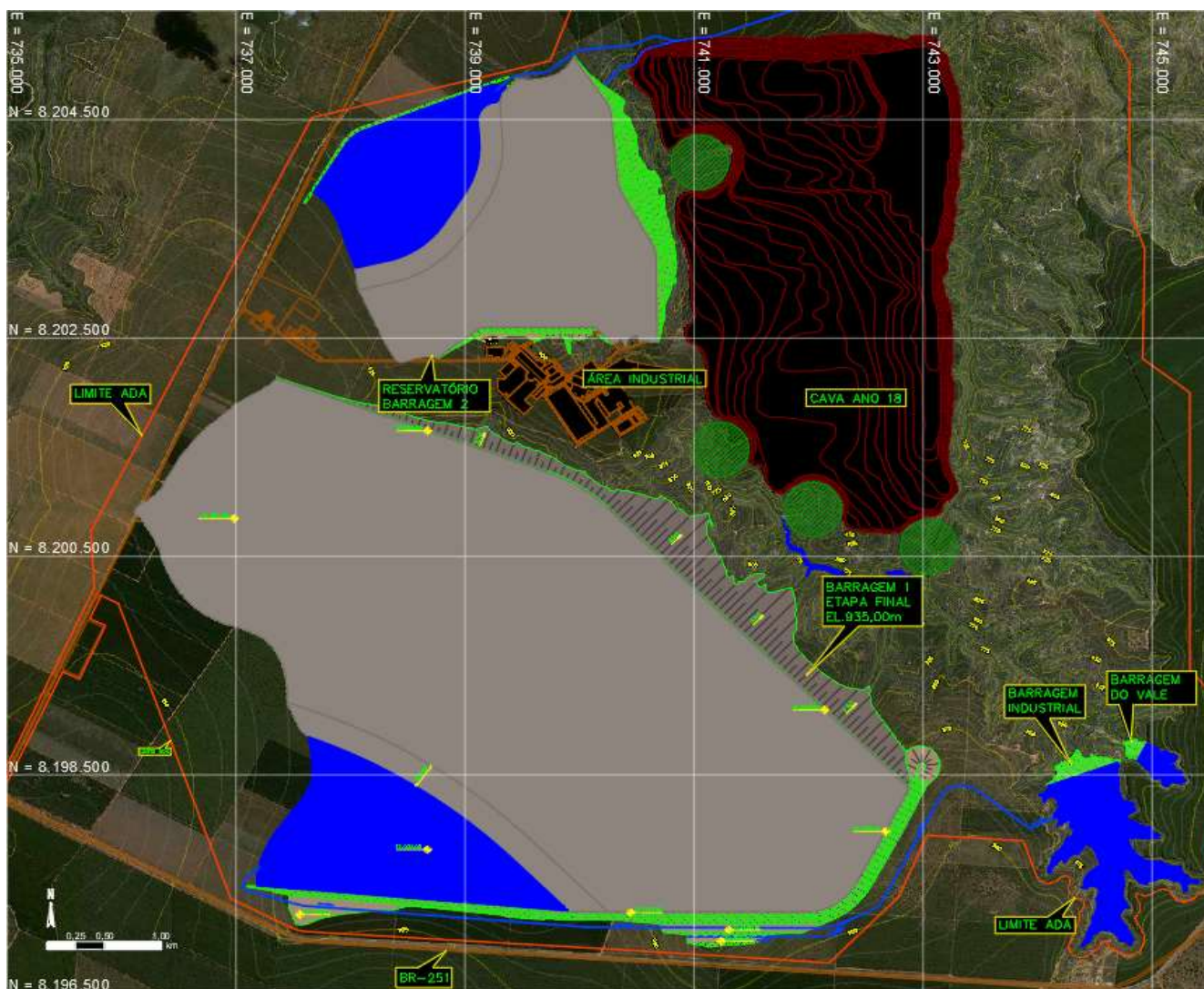


Figura 1.1 – Localização das estruturas.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 5/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

2.0 SUMÁRIO EXECUTIVO

Entre os anos de 2018 e 2019 a WALM desenvolveu os estudos de ruptura hipotética das barragens de água e rejeito de modo a avaliar a sua extensão, bem como para verificar as Zonas de Auto Salvamento, Zona de Salvamento Secundário, as projeções de mancha e tempos de deslocamento dos fluxos de modo a subsidiar a avaliação de riscos das estruturas do complexo em relação as áreas a jusante do Projeto Bloco 8. Os estudos foram desenvolvidos considerando as diretrizes da Portaria DNPM N° 70.389 de 17 de maio de 2017 que complementou a Lei 12.334 de setembro de 2010. A empresa foi ainda a responsável pela projeção de Estrutura Ambiental de Contenção projetada à jusante da cava com finalidade de diminuição de impactos no caso de um possível rompimento de barragens.

Após o colapso da Barragem B1 em Brumadinho, foi publicada a Resolução da Agência Nacional de Mineração ANM n° 32 de 11 de maio de 2020 que estabeleceu novas diretrizes para os estudos de Ruptura Hipotética de Barragens de Rejeitos, alterando diretrizes estabelecidas na Portaria DNPM n° 70.389/2017.

Nesse contexto, a Walm foi contratada no final de 2020 para elaborar revisão do estudo de ruptura hipotética da Barragem de Rejeitos 1 e reavaliar o projeto da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC), proposta a jusante da cava, visando o atendimento das novas diretrizes estabelecidas pela ANM. As principais mudanças em relação aos estudos de ruptura hipotética realizados nos anos de 2018 e 2019 estão sintetizadas a seguir:

- A propagação da onda de ruptura hipotética foi realizada considerando as características do rejeito existente no reservatório da Barragem 1, admitindo o escoamento não-newtoniano. Para tanto, foram calculados as tensões de escoamento e a viscosidade do fluido em função da concentração volumétrica obtida para a mistura de água, rejeitos mobilizados e o volume desprendido do barramento durante a evolução da brecha. Nos estudos anteriores o escoamento foi admitido como um fluido newtoniano (água), não sendo considerada a sua viscosidade e a tensão do escoamento;
- Tendo em vista que o deslocamento da frente de onda foi realizado contemplando a influência dos rejeitos, para a simulação da propagação da onda de ruptura hipotética foi utilizado o modelo matemático computacional RiverFlow2D, uma vez que esse software permite a

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 6/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

variação dos parâmetros supracitados a partir do cálculo da variação da concentração volumétrica que ocorre à medida que fluidos em diferentes concentrações se misturam. Vale mencionar que o modelo bidimensional do HEC-RAS, na versão utilizada nos estudos anteriores não era capaz de simular escoamentos do tipo não-newtonianos;

- Na atualização dos estudos, tendo em vista a magnitude da extensão do barramento, a definição da superfície final de ruptura foi realizada considerando a formação de cunha de elipsoidal partindo da fundação do barramento no ponto crítico e seguindo a declividade 1%, considerada como o ângulo estável dos rejeitos pós ruptura, conforme metodologia proposta por BLIGHT, obtendo uma estimativa mais realística dos volumes passíveis de mobilização. No estudo de ruptura desenvolvido nos anos de 2018 e 2019 foi utilizada a metodologia proposta por (FROEHLICH, 2016), que apesar de bastante difundida, não considera os efeitos de erodibilidade do maciço de acordo com os parâmetros geotécnicos da estrutura;
- Por fim, outra adequação dos estudos foi a definição do cenário considerado como de maior dano. No estudo anterior foi considerado o rompimento por instabilização do maciço, com o nível de água na soleira do sistema extravasor da Barragem 1 na EL. 932,00m (NA normal). Na revisão dos estudos, foi realizado um estudo específico para a identificação do cenário de maior dano, tendo sido admitida a hipótese ruptura por galgamento, considerando o NA coincidente com a crista da Barragem 1, ou seja, na EL. 935,00m, maximizando os valores dos volumes mobilizados obtidos.

Diante do exposto, neste documento é apresentada a atualização dos estudos de ruptura hipotética da Barragem de Rejeitos 1, visando o atendimento das diretrizes preconizadas pela nova resolução da ANM, considerando as alterações citadas acima.

O projeto conceitual da Barragem 1 foi elaborado pela Walm em outubro de 2018 e consiste, de forma sucinta, em um dique inicial executado em solo compactado até a elevação 890,0 m, alteado por linha de centro utilizando-se rejeito grosso (*underflow*) compactado, e um dique de sela na região da ombreira direita, também executado em solo compactado.

Em sua configuração final a crista do barramento se estenderá por mais de 6,5 km, possuindo capacidade de armazenamento superior a 900 Mm³, considerando-se a elevação final na cota 935,00m.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 7/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

A partir de estudos preliminares desenvolvidos em fevereiro de 2021, procurou-se avaliar o cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1 em termos temporais e locais e chegou-se à conclusão que tal cenário se daria no ano 18 de operação e com ponto de ruptura localizado na porção do barramento principal de maior altura. Adicionalmente, foi verificado o mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso para o vale a jusante, dentre os mais prováveis de ocorrência, sendo definido pelo modo de falha por galgamento, conforme apresentado no relatório “MINA_BLC8007-1010-G-RE-36”.

A Figura 2.1 ilustra a configuração topográfica para o cenário determinado e a localização do ponto inicial de ruptura.

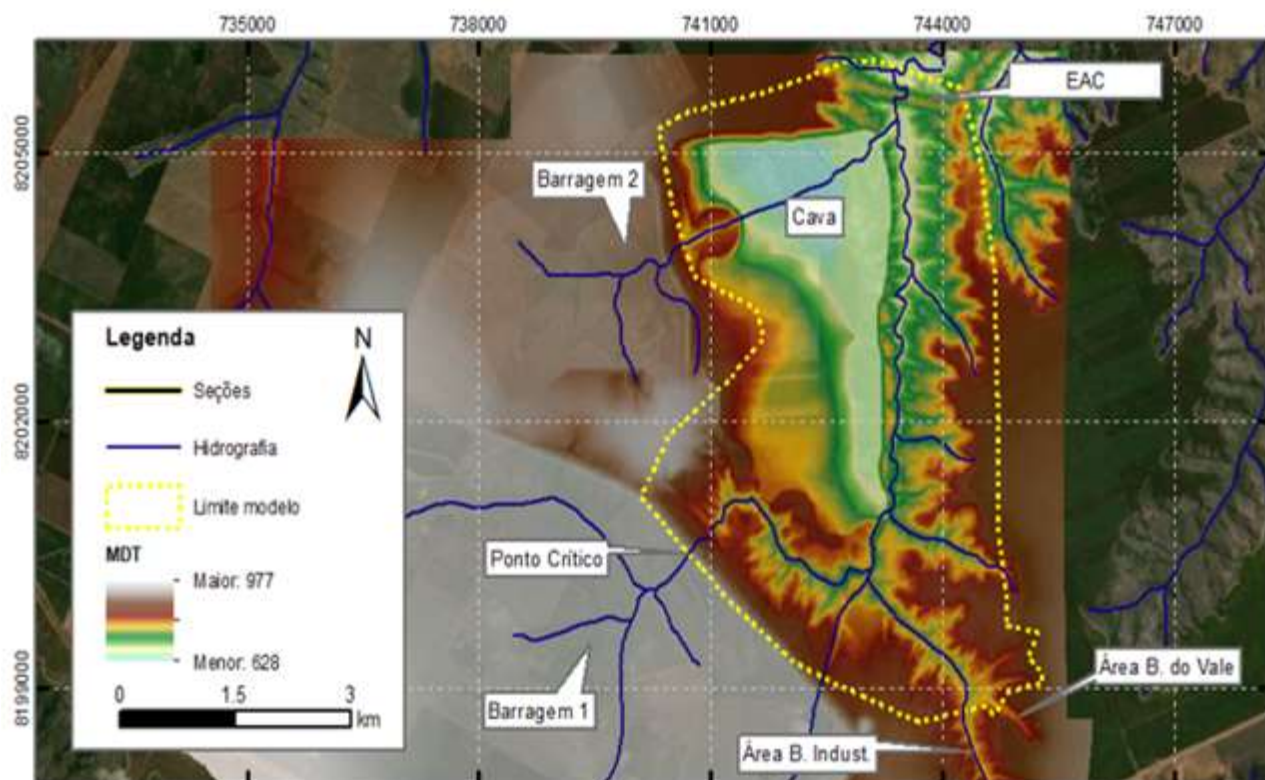


Figura 2.1 – Ponto crítico de ruptura.

O volume de rejeito mobilizado foi calculado a partir da construção de cunha elíptica partindo da elevação da fundação no respectivo ponto e seguindo uma declividade considerada para o ângulo de repouso dos rejeitos. Ressalta-se que, uma vez que não estão disponíveis estudos reológicos para melhor embasar a definição do ângulo de repouso, assumiu-se o valor conservador de 1%.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 8/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Nos termos descritos, a cota de fundo considerada foi 795,00m e o volume total mobilizado foi de 575.814.384,89 m³, sendo 544.223.821,52 m³ de rejeitos e 31.590.563,37 m³ de água.

Os estudos preliminares indicaram também que para o cenário crítico a onda de ruptura atingiria a fundação das barragens de água Industrial e a barragem de água córrego do Vale. Diante desse fato, considerou-se também a mobilização integral dos maciços e volumes de água contidos nos reservatórios das referidas estruturas, correspondendo à um total de 21.941.297 m³ para a Barragem Industrial e 2.286.495 m³ para a Barragem do Vale.

A partir da definição do volume e considerando-se as características geotécnicas dos materiais componentes do barramento da Barragem 1 no ponto de ruptura, foi construído modelo de erodibilidade do maciço, tendo como gatilho o processo de galgamento. Dessa forma, foi gerado um hidrograma de ruptura hipotética que apresentou uma vazão de pico de 662.575,26 m³/s, resultando em um volume final propagado de 587.371.696,75 m³. Ressalta-se que esse volume leva em conta a quantidade de material erodido do próprio maciço (volume total mobilizado de 575.814.384,89 m³ acrescido do volume erodido do maciço de 11.557.311,86 m³). Em termos comparativos, nos estudos de ruptura hipotética desenvolvidos nos anos de 2018 e 2019, o volume total propagado pela onda foi de 365.225.861,25 m³, cerca de 38% inferior ao volume obtido com a revisão dos estudos ora apresentados.

Por fim, utilizou-se o modelo hidráulico bidimensional RiverFlow2D, para simular a propagação dos hidrogramas de ruptura, considerando a concentração volumétrica (cv) da mistura da massa de rejeitos mobilizada, água livre e barramento e sua variação ao longo do evento simulado, sendo, portanto, considerada a condição de escoamento não-newtoniano.

Devido à atuação da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) todo o volume mobilizado ficou retido a montante da mesma. Assim, o modelo restringiu-se aos limites da ADA do empreendimento.

Vale mencionar que a EAC foi concebida com o objetivo de conter a onda de rejeitos provenientes de um possível rompimento da Barragem 1. Desse modo, seu reservatório foi previsto com dimensões suficientes para tal finalidade, esperando-se que durante toda a sua vida útil a estrutura opere vazia. Para tanto, a estrutura conta com um túnel sob o seu maciço para garantir a passagem do fluxo natural do córrego Lamarão, com seção de emboque a montante da EAC e desemboque em uma seção regular dotada de comporta, que será programada para fechar automaticamente em caso

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 9/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

de uma eventual ruptura da Barragem 1. Adicionalmente, foi previsto um sistema extravasor de emergência para atendimento ao cenário hipotético de colapso da Barragem 1 (cenário crítico em relação ao estudo de rompimento).

Os resultados obtidos na revisão dos estudos mostraram que a onda de ruptura inicialmente alcança a EAC com aproximadamente 18 min, atingindo a elevação máxima de 775,38 m, nesse caso em cerca de 1 h e 3 min após o início do evento de ruptura. Vale mencionar que nos estudos elaborados pela WALM em 2018, a cota máxima dos rejeitos para o volume mobilizado na Barragem 1, implicou na elevação máxima do reservatório da EAC até a EL. 743,90 m, ou seja, quase 32 metros inferior a elevação atingida pelos rejeitos com a atualização dos estudos.

Importante ressaltar que a análise da qualidade de efluentes dos cursos de água impactados não se fez necessária nos estudos de ruptura hipotética desenvolvidos, tendo em vista que todo o volume mobilizado ficou retido a montante da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC).

Além dos mapas contendo as manchas de inundação máxima, são apresentados resultados que representam os parâmetros de velocidade e profundidade da inundação, bem como o tempo de chegada da frente de onda, tempo para máxima profundidade e risco hidrodinâmico. Assim, é possível atender aos requisitos definidos para a quantificação dos riscos.

Os resultados obtidos mostram que a mancha de inundação não intercepta nenhuma edificação da área industrial, porém, atinge as áreas espeleológicas de interesse ambiental, que se localizam no entorno da cava. Assim, nos termos definidos pela Portaria do DNPM nº 70.389/2017, considera-se para a Barragem 1 Dano Potencial Associado (DPA) alto.

Tendo em vista os resultados e os critérios definidos nos termos da portaria do DNPM nº 70.389/2017, e, considerando que a EAC se encontra à uma distância inferior a 10 km do barramento no ponto de ruptura, definiu-se como Zona de Autossalvamento (ZAS) toda a área atingida dentro da ADA prevista para o complexo minerário.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 10/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

3.0 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é a estimativa da envoltória máxima de inundação decorrente da ruptura hipotética da Barragem 1, de rejeitos, capaz de provocar o maior impacto no vale a jusante.

Especificamente, os estudos aqui apresentados foram realizados visando o atendimento das diretrizes preconizadas pela Resolução da ANM nº 32/2020 sempre em consonância com a Lei estadual 23.291 que trata de estudo de dam break conceitual concernente à fase de Licenciamento Ambiental prévio, e contemplaram as seguintes atividades:

- Caracterizar a área de estudo com a apresentação da região a jusante da Barragem 1;
- Apresentar a metodologia adotada;
- Definir o cenário de ruptura hipotética;
- Determinar o hidrograma de ruptura; e
- Apresentar a propagação hidrodinâmica do hidrograma defluente.

Assim, para melhor compreensão, além destes capítulos introdutórios, este documento está estruturado da seguinte maneira:

- Capítulo 4.0**Erro! Fonte de referência não encontrada.**: onde estão apresentados os dados básicos para a elaboração deste estudo;
- Capítulo 5.0**Erro! Fonte de referência não encontrada.**: no qual é apresentada a caracterização do empreendimento;
- Capítulo 6.0: mostrando a caracterização geral da área a jusante do barramento;
- Capítulo 7.0: contendo as metodologias, premissas e critérios utilizados;
- Capítulo 8.0: no qual é definido o cenário crítico considerado no estudo de ruptura hipotética;
- Capítulo 9.0: onde estão detalhadas as variáveis de entrada, condições de contorno do estudo de ruptura hipotética, bem como os resultados obtidos, desde a obtenção da brecha de ruptura à elaboração do hidrograma defluente;
- Capítulo 10.0: contendo a análise do dano potencial associado à ruptura da estrutura;
- Capítulo 11.0: onde estão tecidas as considerações finais;
- Capítulo 12.0: contendo referências bibliográficas utilizadas; e
- Por fim, no Apêndice A é apresentada a lista de mapas produzidos.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 11/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

4.0 DADOS BÁSICOS

A seguir estão apresentados os documentos utilizados para o estudo de ruptura da Barragem 1.

4.1 PROJETOS DE REFERÊNCIA

A Tabela 4.1 apresenta os documentos disponibilizados pela SAM, os quais foram utilizados para o desenvolvimento dos estudos que se seguem.

Tabela 4.1 – Documentos disponibilizados.

Tipo	Número de referência	Título	Formato	Elaborado por	Data
Levantamentos topográficos	VRP-2010-O-0001	TOPOGRAFIA DO BLOCO 8	.dwg	SAM	09/04/13
Projeto Conceitual	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Disposição De Estéril E Rejeito Barragem 1 Relatório Técnico	.docx	WALM	11/10/18
	MINA_BLC8007-1010-O-65	Disposição De Estéril E Rejeito Barragem 1 - El.935,00m (ETAPA FINAL) Arranjo Geral - Planta e Seções Típicas	.dwg	WALM	10/08/18
	MINA_BLC8007-1010-O-24	Disposição De Estéril E Rejeito Barragem Industrial Arranjo Geral - Planta e Seções Típicas	.dwg	WALM	29/06/18
	MINA_BLC8007-1010-G-RE-12	Disposição De Estéril E Rejeito Estudos De Ruptura Hipotética (Dam Break) Da Barragem Industrial Relatório Técnico	.docx	WALM	05/10/18
	MINA_BLC8007-1010-O-17	Disposição De Estéril E Rejeito Barragem do Vale Arranjo Geral - Planta e Seções Típicas	.dwg	WALM	29/06/18
	MINA_BLC8007-1010-G-RE-13	Disposição De Estéril E Rejeito Estudos De Ruptura Hipotética (Dam Break) Da Barragem Do Vale Industrial Relatório Técnico	.docx	WALM	05/10/18
	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Revisão Estudos De Ruptura Hipotética Identificação Cenário De Maior Dano Relatório Técnico	.docx	WALM	18/02/21

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 12/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

4.2 TOPOGRAFIA

A topografia utilizada no estudo foi definida por Modelo Digital de Terreno (MDT), elaborado a partir curvas de nível, obtidas por meio de aerolevantamento por perfilhamento a laser (ALS – *Airborne LASER Scanning*), fornecidas pela SAM no arquivo “VRP-2010-O-0001”, apresentando equidistância de 1 metro e datum SAD 69 23S.

A Figura 4.1 a seguir ilustra o MDT utilizado no estudo. Destaca-se que, para a caracterização do uso e ocupação do terreno e para fins de definição de coeficientes de escoamento, foram utilizadas imagens do satélite CBERS 04A, gratuitas disponíveis em <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>, datadas de novembro de 2020.

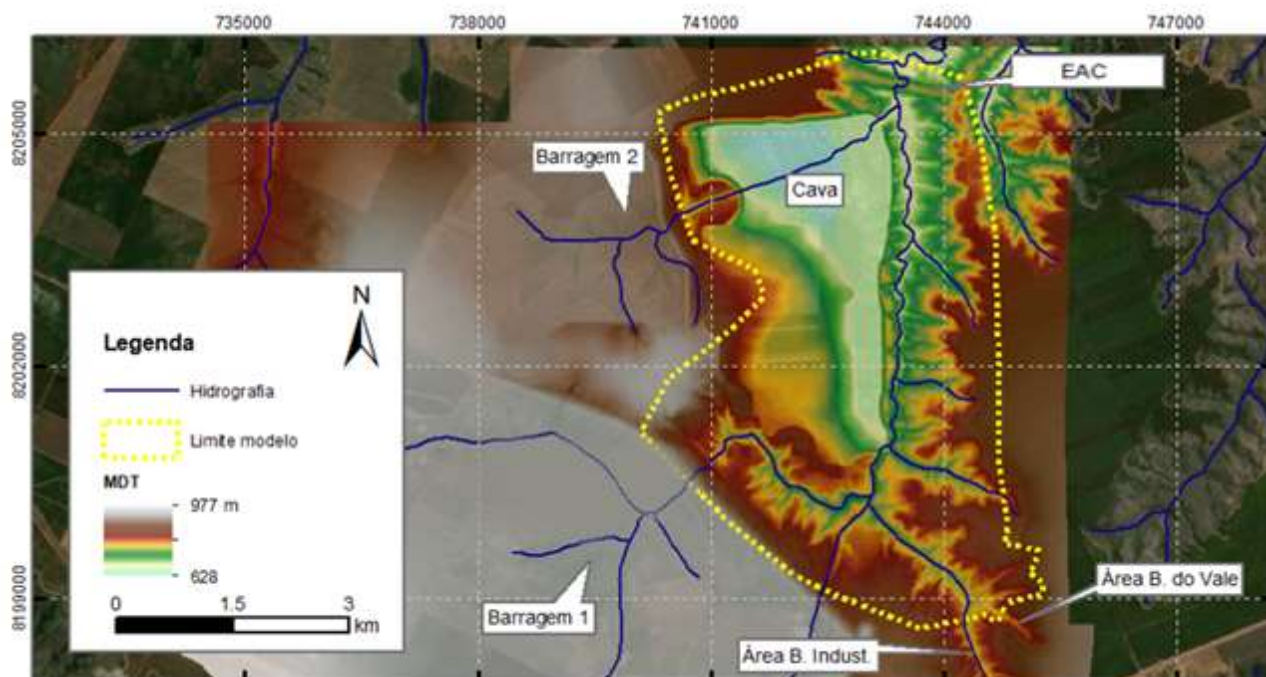


Figura 4.1 – Topografia utilizada no estudo.

Ressalta-se que para o presente estudo foi considerada a execução da EAC até a cota 779,00m.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 13/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

5.0 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM 1 E ESTRUTURAS ASSOCIADAS

5.1 LOCALIZAÇÃO

O complexo minerário do Projeto Bloco 8 localiza-se entre os municípios de Grão Mogol e Padre Carvalho, estado de Minas Gerais, a aproximadamente 600 km a norte de Belo Horizonte, capital do estado. O acesso a partir de Belo Horizonte é realizado pela BR-135 até o município de Montes Claros (MG). A partir deste ponto o acesso até o projeto é realizado pela BR-251 (Rodovia Júlio Garcia) por 136 km até as proximidades do distrito de Vale das Cancelas. O acesso a área do complexo minerário do Projeto do Bloco 8 é realizado por estrada vicinal não pavimentada. A Figura 5.1 apresenta a localização do projeto.

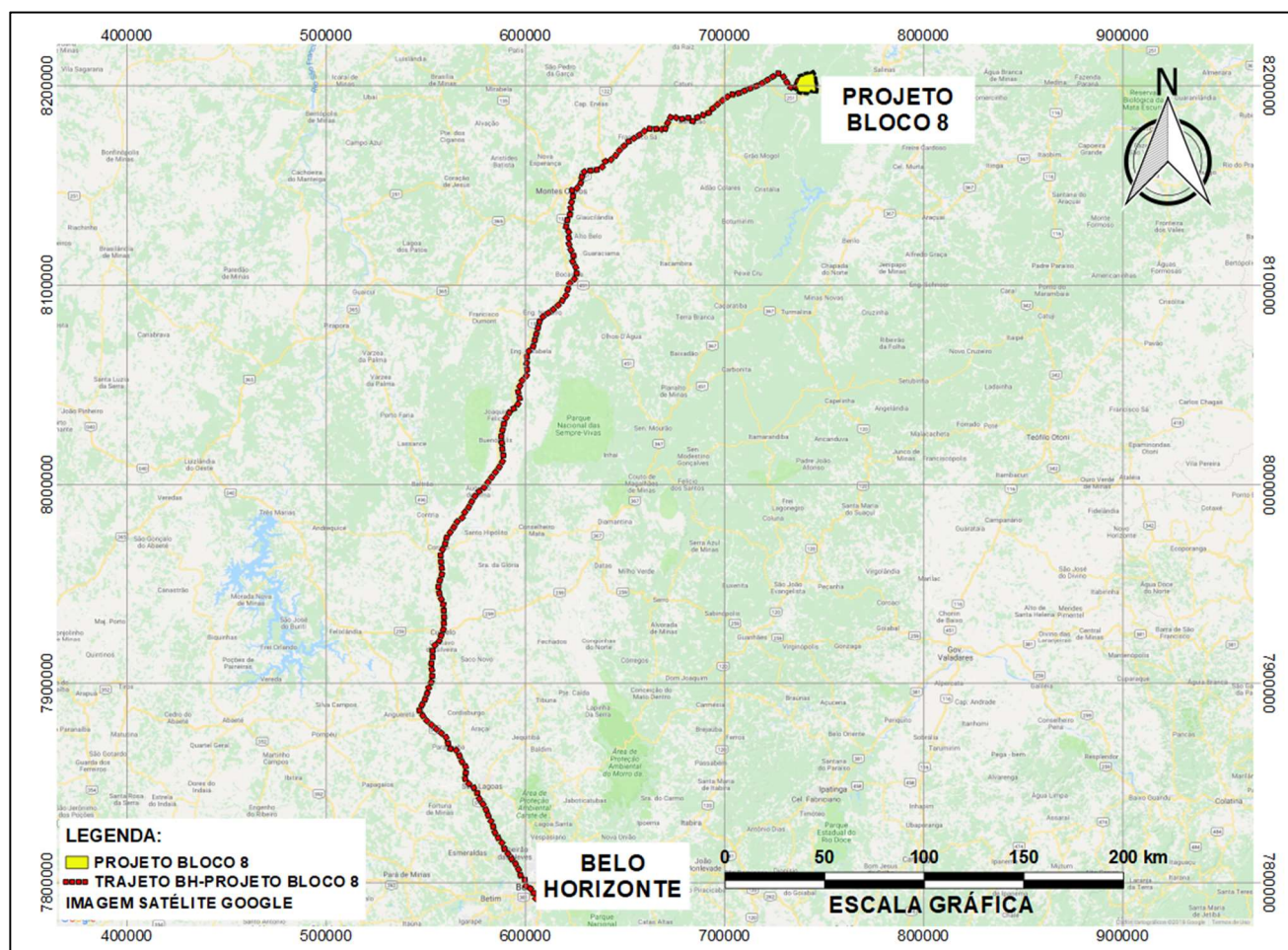


Figura 5.1 – Mapa de localização do Bloco 8 em relação a Belo Horizonte.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 14/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

5.2 ARRANJO GERAL

A Barragem 1 que integra o sistema de disposição de rejeitos do projeto Bloco 8 será constituída por um dique de partida, o maciço alteado pelo método de linha de centro com o rejeito grosso e dique de sela na ombreira direita, este com o objetivo de fechar o reservatório do sistema.

O dique de partida será constituído por estéril compactado proveniente da cava, com altura de aproximadamente 110,0 m na EL. 890,00 m. O talude de jusante do dique de partida apresenta altura entre bancos de 10,0 m de altura, bermas com 6,0 m de largura e inclinação de 1V:2H e crista com 10,0 m de largura. O talude de montante do dique de partida terá inclinação de 1V:2H. A Figura 5.4 e Figura 5.3 apresentam o arranjo geral e seção do dique de partida, respectivamente. Na sequência, a Figura 5.4 e a Figura 5.5 apresentam o arranjo geral final e a seção final da Barragem 1.

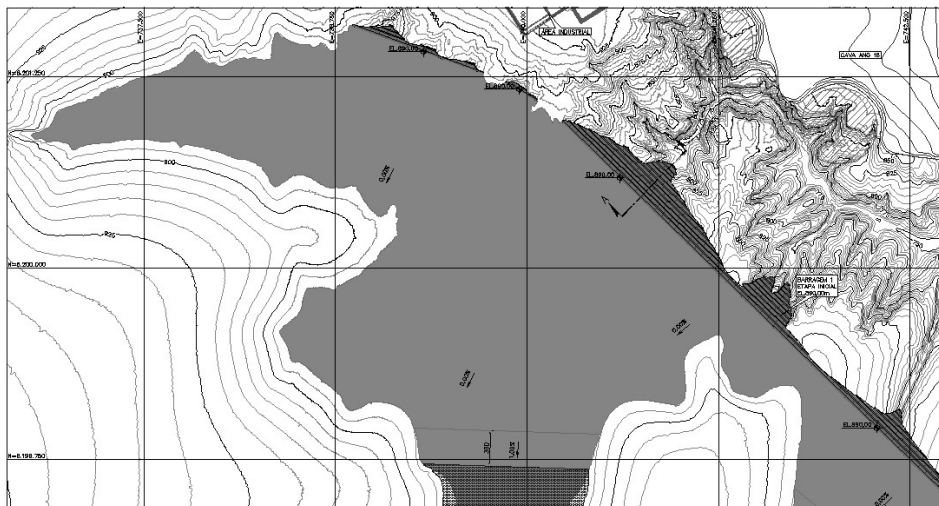


Figura 5.2 – Arranjo geral Dique de Partida.

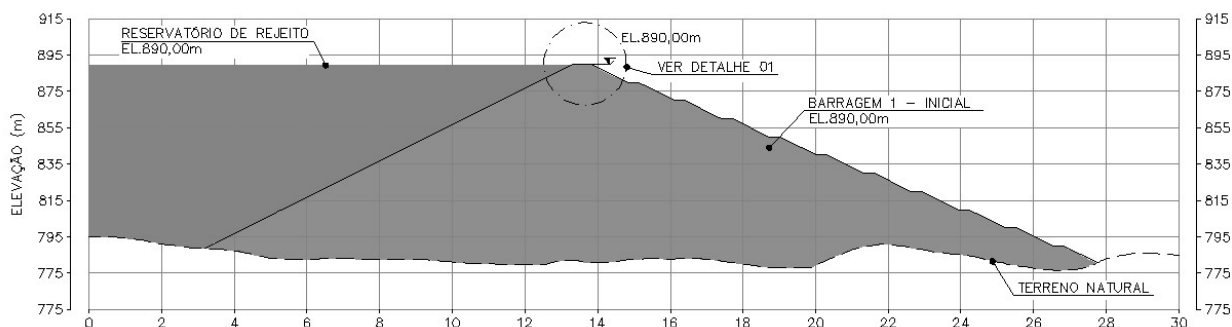


Figura 5.3 – Seção típica Dique de Partida.

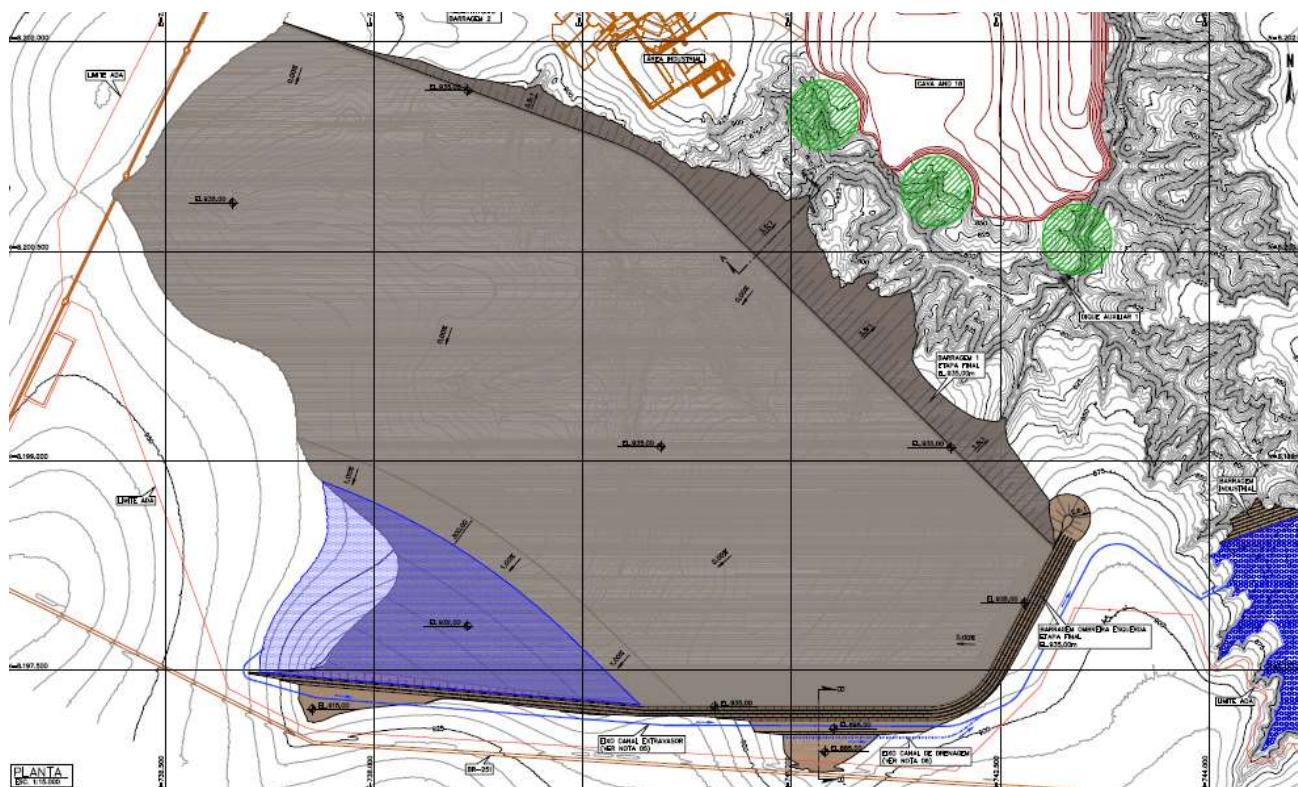


Figura 5.4 – Arranjo geral – Configuração final Barragem 1.

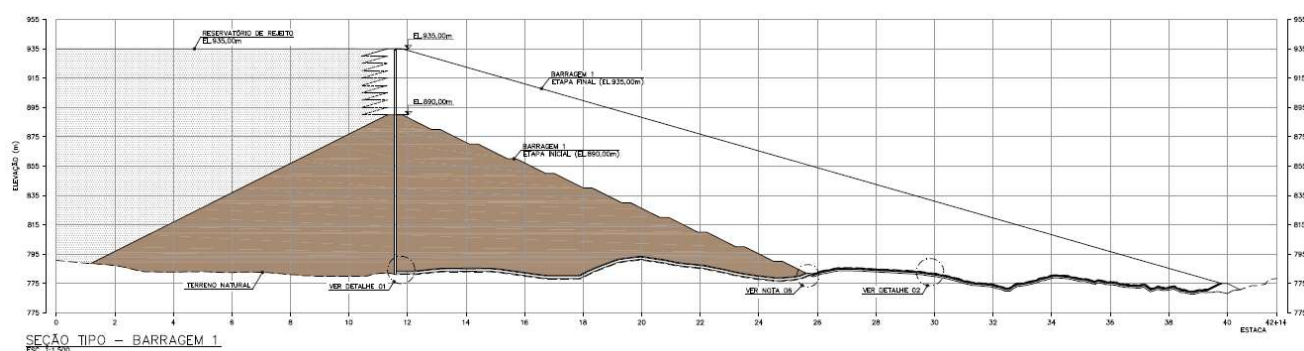


Figura 5.5 – Seção típica – Configuração final Barragem 1.

Para mais detalhes consultar os documentos “MINA_BLC8007-1010-O-64” e “MINA_BLC8007-1010-O-65”. A Tabela 5.1 apresenta a ficha técnica da estrutura.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 16/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

Tabela 5.1 – Ficha técnica Barragem 1

Barragem 1	
Característica	Dados
Elevação Crista Inicial (m)	890,00
Elevação Crista Final (m)	935,00
Elevação Base (m)	776,00
Altura Máxima Inicial (m)	119,00
Altura Máxima Final (m)	159,00
Largura de Crista (m)	10,00
Comprimento de Crista Inicial (m)	4763,11
Comprimento de Crista Final (m)	6827,66
Talude locais (H:V)	2,0 H:1,0 V
Desnível máximo entre bermas (m)	10,00
Largura de bermas (m)	6,00
Taludes Globais Jusante (H:V)	3,5 H : 1,0 V
Borda livre reservatório (m)	3,00
Cota do nível d'água operacional (m)	932,00
Área de Maciço Inicial (m²)	730.006,88
Área de Maciço Final (m²)	1.898.242,93
Volume total Maciço Inicial (m³)	18.950.000,00
Volume total Maciço Final (m³)	65.400.000,00
Área máxima de espelho d'água (m²)	2.196.120,27
Volume total do Reservatório Inicial (m³)	262.603.131,43
Volume total do Reservatório Final (m³)	927.474.822,76

A área a jusante delimitada para o desenvolvimento deste estudo é definida pela bacia do córrego Lamarão, até a região de jusante da EAC, sendo praticamente coincidente com a ADA do empreendimento.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 17/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

5.3 CURVAS COTA X VOLUME DOS RESERVATÓRIOS

A curva cota-volume da Barragem 1 está ilustrada na Figura 5.6, as informações foram obtidas através do levantamento topográfico e da geometria do reservatório. Na Tabela 5.2 são apresentados os valores da curva cota-volume em forma tabular.

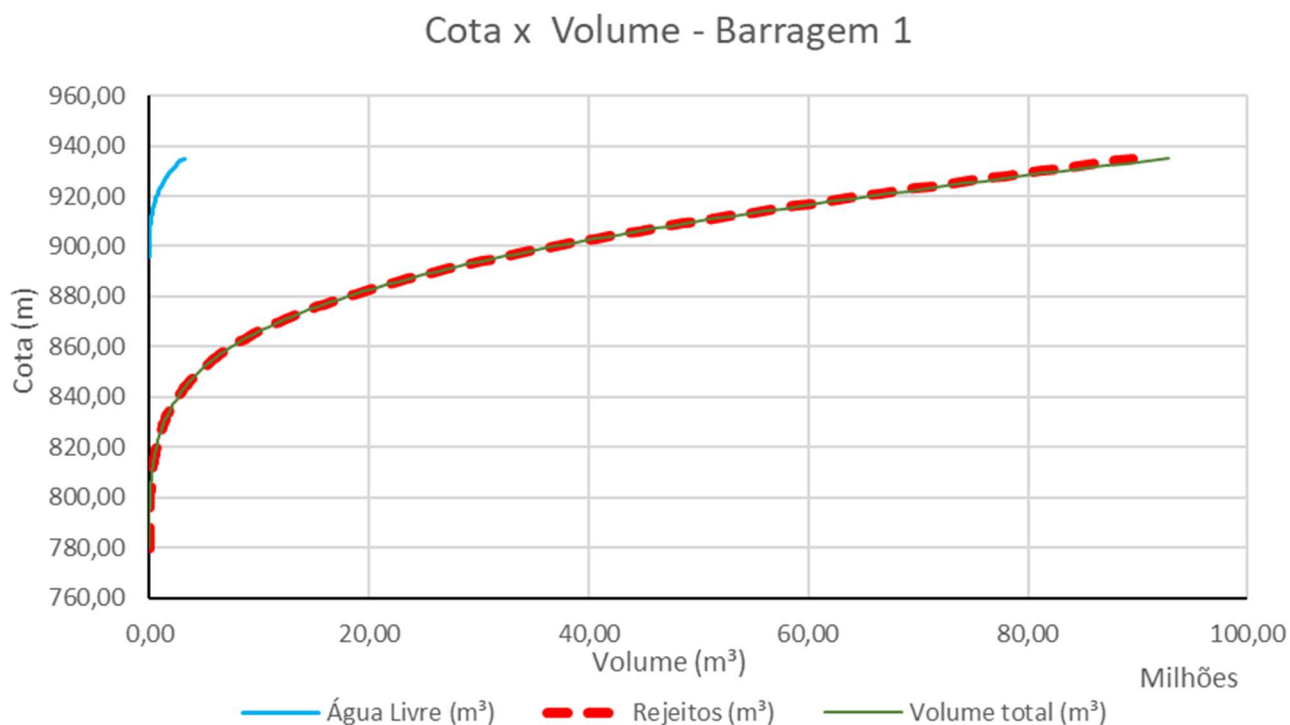


Figura 5.6 – Curva cota x volume Barragem 1.

 Sul Americana de Metais S/A	 Walm Engenharia	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 18/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Tabela 5.2 – Curva cota x volume tabular Barragem 1.

Elevação (m)	Rejeitos (m³)	Água Livre (m³)	Volume total (m³)
780,00	0,00	-	0,00
785,00	17.560,28	-	17.560,28
790,00	109.155,66	-	109.155,66
795,00	339.183,25	-	339.183,25
800,00	774.106,60	-	774.106,60
805,00	1.507.766,48	-	1.507.766,48
810,00	2.625.340,21	-	2.625.340,21
815,00	4.254.954,91	-	4.254.954,91
820,00	6.522.312,27	-	6.522.312,27
825,00	9.558.581,07	-	9.558.581,07
830,00	13.615.241,88	-	13.615.241,88
835,00	19.030.691,00	-	19.030.691,00
836,00	20.290.775,18	-	20.290.775,18
837,00	21.610.826,22	-	21.610.826,22
838,00	22.991.192,64	-	22.991.192,64
839,00	24.433.837,39	-	24.433.837,39
840,00	25.940.080,35	-	25.940.080,35
845,00	34.513.172,55	-	34.513.172,55
850,00	45.241.216,85	-	45.241.216,85
855,00	58.523.252,19	-	58.523.252,19
860,00	74.908.515,48	-	74.908.515,48
865,00	94.919.655,24	-	94.919.655,24
870,00	118.884.659,74	-	118.884.659,74
875,00	147.271.179,34	-	147.271.179,34
880,00	180.452.940,13	-	180.452.940,13
885,00	218.358.617,56	-	218.358.617,56
890,00	262.603.131,43	-	262.603.131,43
895,00	312.849.705,03	-	312.849.705,03
896,00	323.625.949,31	0,00	323.625.949,31
900,00	369.154.577,11	57.390,80	369.211.967,91
905,00	431.365.530,94	471.399,39	431.836.930,33
910,00	499.366.716,47	1.577.055,25	500.943.771,72
915,00	572.468.575,34	3.683.038,94	576.151.614,28
920,00	649.430.229,87	7.110.380,96	656.540.610,83
925,00	729.172.034,18	12.274.498,99	741.446.533,17
930,00	811.637.697,33	19.901.920,38	831.539.617,71
935,00	895.884.259,39	31.590.563,37	927.474.822,76

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 19/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Uma vez constatado nos estudos preliminares a intercepção da fundação das barragens de água Industrial e barragem de água Córrego do Vale pela mancha de ruptura hipotética da Barragem 1, optou-se por considerar, de forma conservadora, que todo o volume referente ao barramento e reservatório das estruturas atingidas seria também mobilizado. Dessa forma, as curvas cota-volume das demais estruturas envolvidas estão apresentadas na Figura 5.7 e detalhadas na Tabela 5.3.

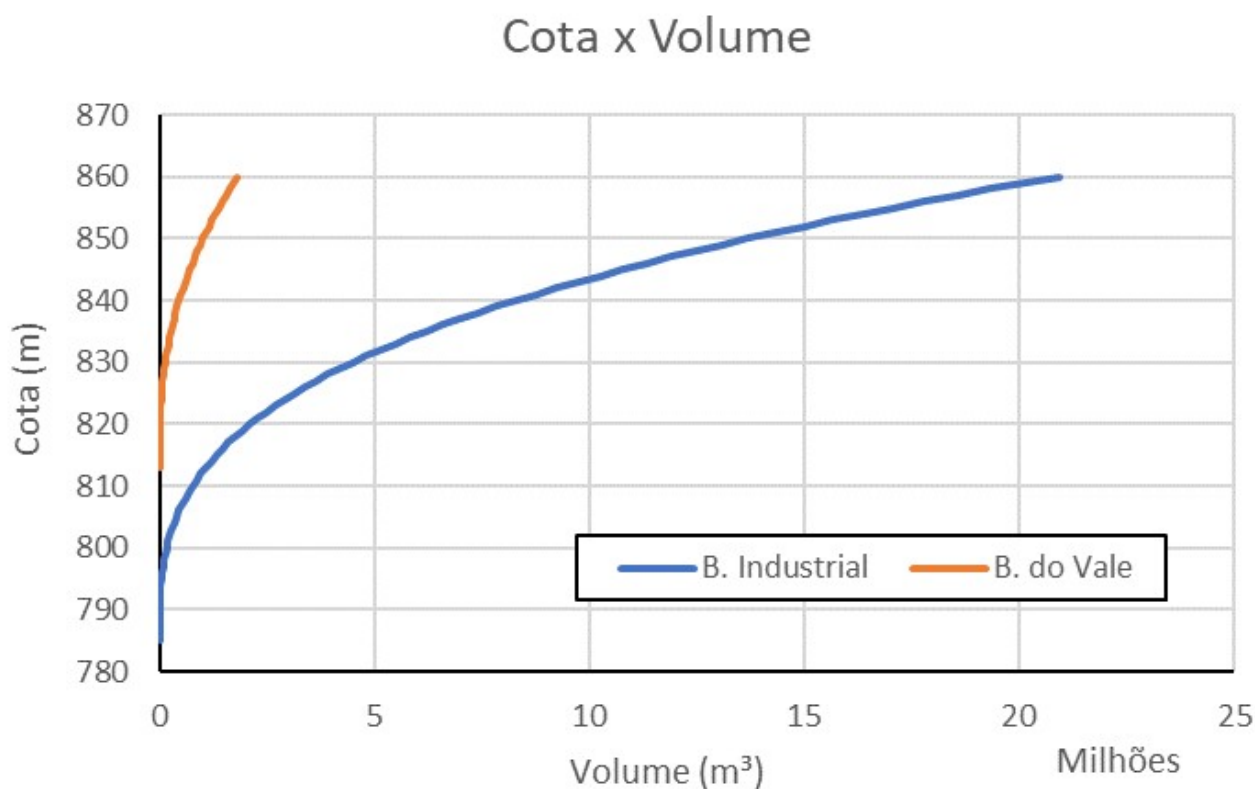


Figura 5.7 – Curva cota x volume barragens Industrial e do Vale.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 20/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

Tabela 5.3 – Curva cota x volume tabular das barragens de água Industrial e Córrego do Vale.

Elevação (m)	Barragem Industrial (m³)	Barragem Córrego do Vale (m³)
785,00	0,00	-
790,00	9.923,45	-
795,00	53.064,02	-
800,00	168.814,25	-
805,00	399.239,12	-
810,00	777.714,15	-
813,00	1.086.193,19	0,00
815,00	1.331.137,93	1.199,21
820,00	2.105.478,77	14.661,76
825,00	3.150.981,22	55.432,96
830,00	4.507.792,75	138.067,41
835,00	6.211.362,84	271.889,39
840,00	8.302.660,89	464.119,25
845,00	10.794.033,36	712.999,16
850,00	13.700.043,79	1.021.306,79
855,00	17.064.673,99	1.390.316,64
860,00	20.930.936,28	1.817.194,61

6.0 DESCRIÇÃO DA ÁREA A JUSANTE

A área a jusante da Barragem 1 delimitada para o desenvolvimento do presente estudo é definida pelo vale do córrego Lamarão até pouco depois da EAC, sendo praticamente coincidente com a ADA do complexo minerário, representando o futuro limite de sua área. Apresenta-se na Figura 6.1 a imagem aérea da região de abrangência do trecho de simulação sobreposta pelas estruturas consideradas no modelo.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 21/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

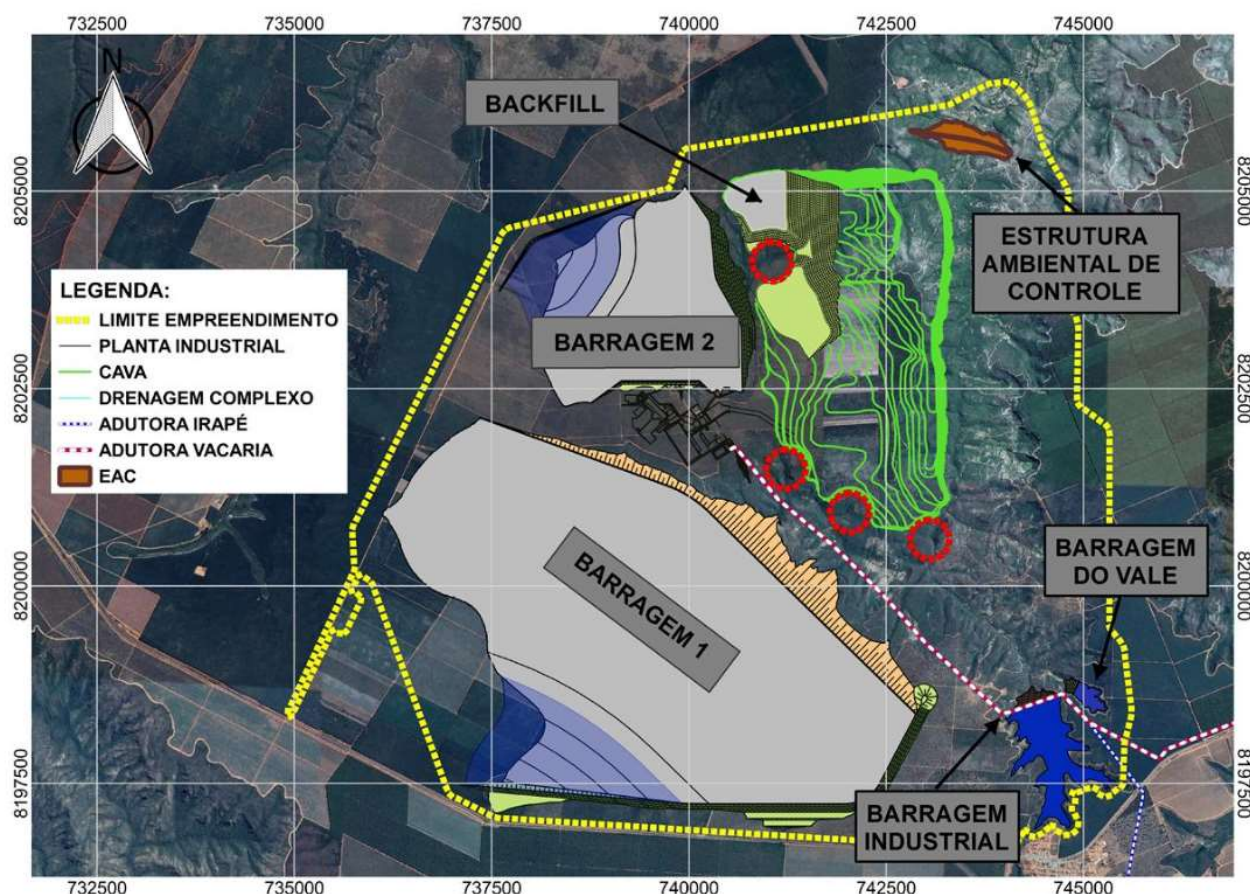


Figura 6.1 – Abrangência do trecho de simulação.

7.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS

A metodologia utilizada para os estudos de ruptura hipotética da Barragem 1 de rejeitos pode ser resumida em quatro etapas principais, a saber:

- Definição dos cenários de simulação;
- Determinação dos volumes mobilizados, dos parâmetros de formação da brecha e do hidrograma de ruptura;
- Propagação da onda de ruptura propriamente dita, considerando todas as etapas necessárias à modelagem hidrodinâmica; e
- Mapeamento de áreas potencialmente inundáveis, considerando a envoltória máxima de inundação, o tempo de chegada da onda de cheia.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 22/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

8.0 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Neste item são replicados os estudos desenvolvidos para a definição do cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1 constantes no documento “MINA_BLC8007-1010-G-RE-36”, elaborado pela WALM em fevereiro de 2021.

Nos referidos estudos, procurou-se avaliar o cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1 em relação à evolução temporal das estruturas ao longo dos 18 anos previstos em projeto, bem como a posição na qual se considerou a formação do processo de ruptura, dada a extensão do barramento que conforma a Barragem 1. Adicionalmente, foi verificado o mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso para o vale a jusante, dentre os mais prováveis de ocorrência.

8.1 CENÁRIO TEMPORAL

A definição do cenário crítico de ruptura em termos temporais foi realizada a partir da análise do balanço entre a soma dos volumes disponíveis nos reservatórios dos barramentos (Barragem de Rejeitos 1, Barragem de Rejeitos 2, Barragem de Água Industrial e Barragem de Água do Córrego do Vale) e o volume disponível na cava, sempre considerando o volume da cava do ano anterior.

A Tabela 8.1 apresenta os valores encontrados, que apontam o ano 18 como de maior criticidade.

Tabela 8.1 – Balanço volumétrico

Ano _i	Volume estrutura (Mm³)					Balanço: ΣBar. _i - Cava. _{i-1}
	Barragem 1	Barragem 2	Barragem Industrial	Barragem do Vale	Cava	
1		123,40	20,93	1,82		146,15
2		123,40	20,93	1,82	5,98	146,15
3	262,60	181,52	20,93	1,82	0,79	460,89
4	262,60	181,52	20,93	1,82	38,06	466,08
5	262,60	181,52	20,93	1,82	38,06	428,81
6	262,60	181,52	20,93	1,82	38,06	428,81
7	262,60	181,52	20,93	1,82	53,34	428,81
8	292,03	181,52	20,93	1,82	53,34	442,95

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 23/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

Ano _i	Volume estrutura (Mm ³)					Balanço: ΣBar. _i - Cava. _{i-1}
	Barragem 1	Barragem 2	Barragem Industrial	Barragem do Vale	Cava	
9	334,65	232,72	20,93	1,82	53,34	536,78
10	393,50	232,72	20,93	1,82	66,45	595,63
11	431,84	232,72	20,93	1,82	62,81	620,86
12	486,62	232,72	20,93	1,82	62,81	679,28
13	545,34	232,72	20,93	1,82	62,81	738,00
14	623,88	232,72	20,93	1,82	29,32	816,54
15	689,92	232,72	20,93	1,82	29,32	916,08
16	741,45	232,72	20,93	1,82	39,25	967,60
17	813,08	232,72	20,93	1,82	54,20	1.029,30
18	927,47	232,72	20,93	1,82	117,04	1.128,74

8.2 CENÁRIO LOCACIONAL DO PONTO DE RUPTURA

Após determinado o ano 18 como cenário temporal crítico buscou-se definir, ao longo do eixo da Barragem 1, o ponto de ruptura capaz de produzir efeitos mais adversos no vale à jusante. Para tanto, admitiu-se a seção do barramento de maior altura, localizada em sua porção central, por ser o local com maior risco de falha e que acarreta em um maior volume mobilizado e propagado para jusante.

A Figura 8.1 ilustra a configuração topográfica para o cenário determinado com destaque para a localização do ponto inicial de ruptura.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 24/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

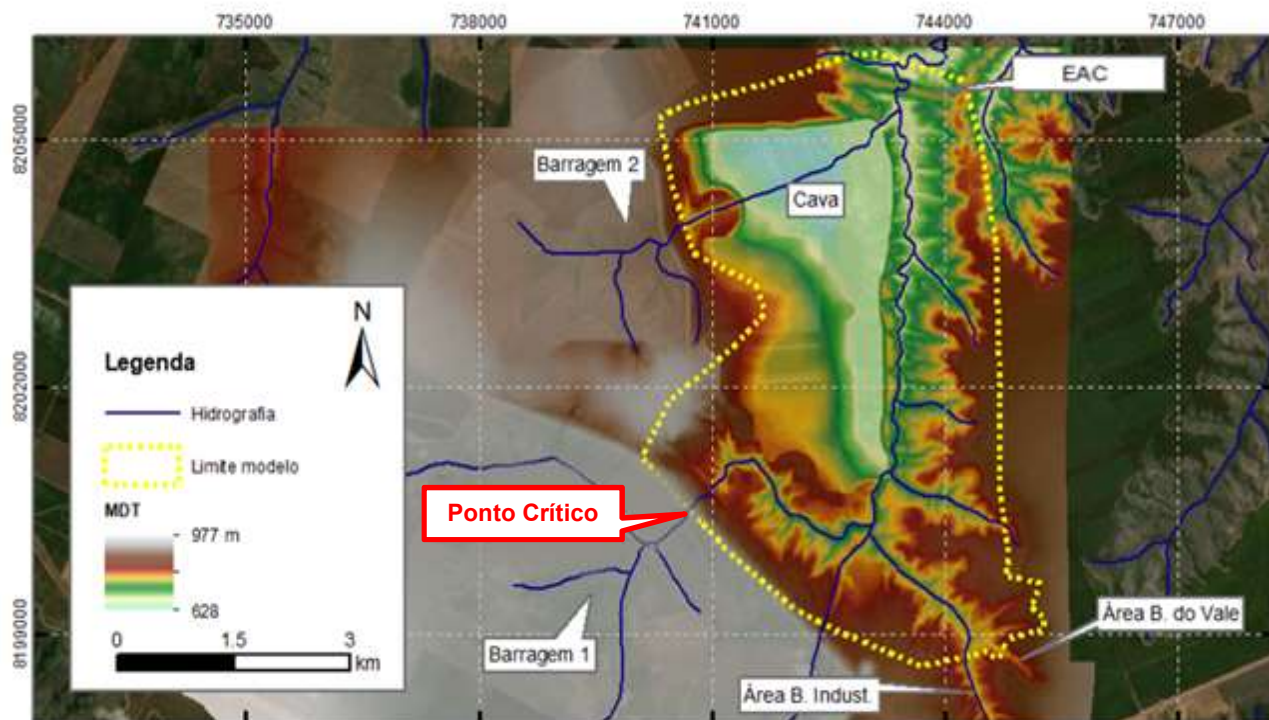


Figura 8.1 – Ponto crítico de ruptura.

8.3 DEFINIÇÃO DO MODO DE FALHA

O estudo da ruptura hipotética da Barragem 1 baseia-se na caracterização dos potenciais eventos adversos e circunstâncias anômalas que podem levar a origem da ruptura e, diante desses eventos, a identificação dos mais prováveis mecanismos de ruptura. Com a definição do mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso para o vale a jusante dentre os mais prováveis, iniciam-se os estudos de propagação da onda de ruptura.

Alguns eventos adversos e circunstâncias anômalas que podem desencadear a ruptura de uma barragem são:

- Evento extremo de precipitação;
- Obstrução do sistema extravasor da barragem;
- Abalos sísmicos;
- Recalques ou colapso da fundação;
- Colmatação da drenagem interna.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 25/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Essas circunstâncias levam a barragem a romper pelos seguintes mecanismos de ruptura:

- a) Galgamento (*overtopping*)
- b) Erosão interna (*piping*)
- c) Liquefação;
- d) Instabilidade estrutural.

Esses modos são desencadeados pela ocorrência única ou simultânea de eventos adversos. Nos itens subsequentes, será analisada a possibilidade de ocorrência dos mecanismos que podem desencadear em uma eventual ruptura da Barragem.

8.3.1 Galgamento

O Galgamento, também denominado como *overtopping*, é uma das causas mais comuns de rupturas de barragens no mundo e sua ocorrência se dá quando o nível de água no reservatório se eleva além da cota da crista. As principais causas que podem provocar o rompimento por galgamento são:

- Ocorrência de eventos de cheias que superam a capacidade do sistema extravasor;
- Problemas operacionais relacionados ao mau funcionamento de comportas e/ou despreparo dos operadores;
- Obstruções da seção hidráulica do sistema extravasor.

O sistema extravasor de emergência da Barragem 1 foi dimensionado de acordo com os critérios mais restritivos preconizados pelas normas nacionais e internacionais, sendo capaz de laminar cheias associadas a um período de retorno de 10.000 anos, o que equivale a eventos com probabilidade de ocorrência inferiores a 0,01%. Adicionalmente, visando agregar segurança hidráulica do maciço, foi admitida uma borda livre mínima de 1,0 m, o que reduz ainda mais a probabilidade de ocorrência;

A probabilidade da ocorrência de problemas operacionais relacionados ao mau funcionamento de comportas e/ou despreparo dos operadores não é aplicável à Barragem 1 uma vez que a estrutura extravasadora é um canal de superfície com soleira livre.

E, para que ocorra a obstrução do sistema extravasor da Barragem 1 é necessário que haja objetos com dimensões na área de contribuição ou no reservatório capazes de obstruir o emboque do vertedouro. A montante da barragem não existe vegetação de grande porte, dessa forma, é muito

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 26/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

pouco provável que durante um evento de chuva intenso troncos de árvores sejam carregados e retidos na seção do emboque,

Diante do exposto, pode-se concluir que a probabilidade de ocorrência de uma eventual ruptura da Barragem 1 por galgamento é muito baixa, com risco quase nulo.

8.3.2 Erosão Interna (*Piping*)

A erosão interna (*piping*) é um processo onde se forma um tubo de escoamento preferencial conhecido como entubamento (*piping*) causado pela percolação da água. Falhas ocasionadas por *piping* são eventos que ocorrem por erosão regressiva, na qual se forma um tubo, gerado do carregamento de partículas, de jusante para montante no maciço do solo compactado. Este tubo tende a expandir gradativamente seu diâmetro conforme a água percorre pelo solo compactado, levando então ao colapso da estrutura.

De modo geral, pode-se dizer que a instabilidade de barragens ocasionada por *piping* é decorrente do fluxo descontrolado de água, no maciço ou na fundação, que gera percolação nos espaços vazios do solo, reduzindo as forças de tensão superficial entre os grãos. Dessa forma, para que ocorra *piping* é necessário que exista uma lâmina de água no talude de montante da barragem com carga hidráulica suficiente para percolar pelo maciço ou fundação e carrear partículas do maciço.

A avaliação quanto a percolação objetiva principalmente verificar o comportamento do fluxo percolado e se será suficiente para mobilizar o aterro e/ou a fundação da barragem, de forma que possa provocar erosão no pé do talude de jusante e, conseqüentemente, a ruptura progressiva da barragem. Assim, a melhor forma de se evitar esse modo de falha em barragens de aterro compactado é a implantação de sistema de drenagem interna em barragens, como filtro vertical e tapete drenante na base do talude de jusante.

No projeto conceitual da Barragem 1 (MINA_BLC8007-1010-G-RE-31) foi previsto um sistema de drenagem interna no maciço composto por um filtro vertical e tapete drenante no fundo do talvegue de maneira a garantir a condução adequada do fluxo de água proveniente das vazões percoladas pelo maciço e fundação, evitando processos erosivos no aterro e no pé do talude de jusante e, conseqüentemente, a ruptura progressiva da barragem.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 27/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

Vale ressaltar que o sistema de drenagem proposto foi devidamente dimensionado considerando os resultados obtidos nas análises de percolação, indicando, assim, uma probabilidade de ocorrência muito baixa.

8.3.3 Liquefação

A Liquefação ocorre por solicitação estática ou dinâmica de maciço poroso parcial ou totalmente saturado, no qual, por baixa permeabilidade e compactação, a carga passa a ser suportada pela fração líquida produzindo levitação dos sólidos e, desta forma, a massa toda passa a se comportar por período de tempo limitado como um líquido.

No projeto conceitual da Barragem 1 (MINA_BLC8007-1010-G-RE-31) foi realizada análise de liquefação estática da Barragem 1, embasada pelos estudos de retro análise desenvolvidos por Olson (2001). Vale mencionar que essa metodologia foi baseada na avaliação da liquefação e na retroanálise de 33 casos históricos de ruptura por liquefação, por meio de correlações entre as razões de resistência ao cisalhamento de pico e liquefeita. Os resultados da análise visando verificar a susceptibilidade da Barragem 1 ao processo de ruptura por liquefação podem ser visualizados na Figura 8.2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde foi obtido o Fator de Segurança (FS) de 2,16.

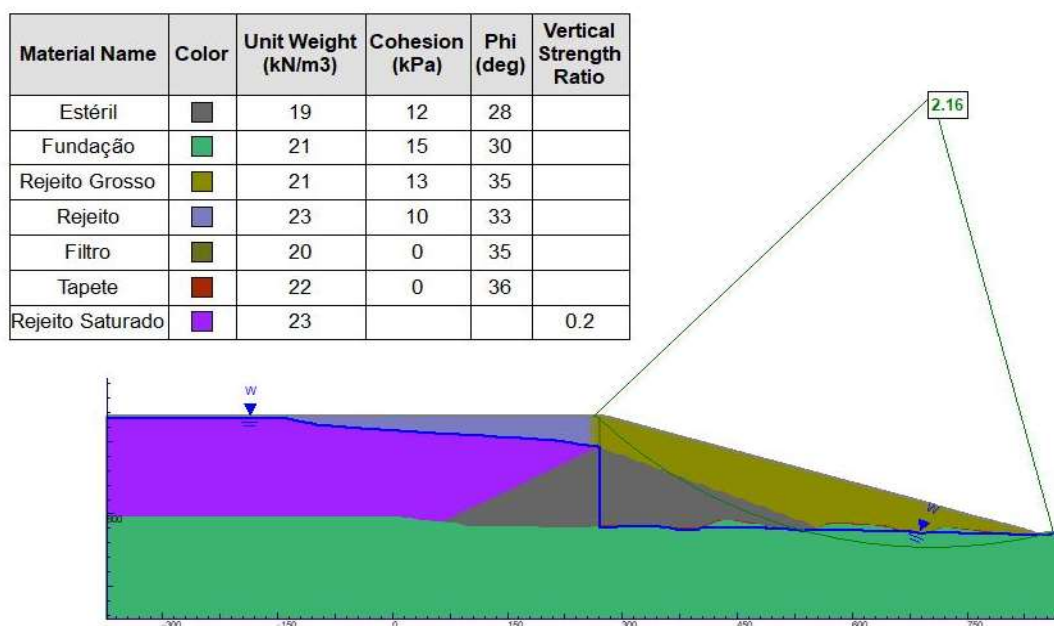


Figura 8.2 – Análise de Liquefação Estática da Barragem 1

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 28/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

O critério de verificação de segurança contra a liquefação estática, isto é, os fatores de segurança mínimos (FS) que devem ser alcançados para que seja garantida a estabilidade do material caracterizado como susceptível à liquefação, não está normatizado, nem em normas internacionais e tampouco na norma brasileira de projeto de barragens de mineração (ABNT NBR 13028: 2017). Esta norma, em sua última revisão, emitida em 2017, deixou a critério do projetista o estabelecimento dos fatores de segurança mínimos.

A WALM entende que, na ausência de normatização, estes fatores mínimos devem ser estabelecidos de forma conservadora e com base nas boas práticas de engenharia. De acordo com pesquisas realizadas, foram encontradas na literatura internacional as seguintes recomendações:

- a) Chapman et al. (2015) reporta o fator de segurança mínimo para a análise para a condição de resistência não-drenada de pico de $FS \geq 1,5$;
- b) Martin et al. (2002) reporta o fator de segurança mínimo para a condição de resistência não-drenada de pico de $FS \geq 1,5$.

A prática brasileira, ainda não documentada em artigos de congresso e periódicos, tem sido a de considerar $FS \geq 1,3$ para os parâmetros de resistência não-drenada de pico.

Diante do exposto e considerando o resultado da análise apresentada na Figura 8.1, pode-se concluir que a Barragem 1 não é susceptível ao processo de ruptura por liquefação. O fator de segurança obtido de 2,16 é muito superior aos valores recomendados nas referências bibliográficas internacionais existentes e também ao valor praticado no Brasil.

Seguem abaixo alguns pontos relevantes acerca da concepção admitida para a Barragem 1 que corroboram com a não susceptibilidade desta estrutura ao processo de ruptura por liquefação:

- a) O conceito de armazenamento de rejeito adotado para a Barragem 1, a partir de um barramento alteado pelo método de linha de centro com um filtro-septo vertical, associado à manutenção de uma extensa praia de rejeito a montante (com extensão superior a 400 m), vai de encontro às boas práticas de engenharia, resultando no controle do nível freático, impedindo que comportamentos adversos possam se concretizar.
- b) A disposição e compactação controlada dos rejeitos grossos para a construção do espaldar de jusante, associado ao lançamento de rejeito grosso conjuntamente com rejeito fino (material

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 29/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

silto-arenoso) a montante, resulta na otimização da seção transversal da estrutura. Esta otimização permite que preocupação quanto à instabilidade do talude de jusante do barramento construído com os próprios rejeitos por liquefação estática passa a ser excluída conceitualmente, na medida em que o material a ser lançado e que configurará o talude de jusante do barramento terá construção compactada e controlada, resultando em material com comportamento dilatante, e não saturado, na medida em que o filtro-septo interceptará e conduzirá adequada e controladamente para fora desta região as infiltrações geradas pela existência do reservatório gerado pela deposição das lamas e rejeitos finos.

Em síntese, a Barragem 1 não é susceptível à liquefação, devido ao fato de que o talude de jusante desta estrutura apresentar-se não saturado e compactado.

Ainda, vale mencionar que de um modo geral, as barragens do Projeto Bloco 8 foram concebidas visando eliminar o risco de liquefação, tendo como principais as seguintes providências:

- **Durante a construção e operação**, os materiais serão **periodicamente testados** para confirmação de adequação ao projetado;
- A premissa construtiva é garantir **permeabilidade** adequada aos materiais construtivos de modo a evitar risco de liquefação;
- Também a construção será inspecionada, camada a camada, similarmente ao que se faz em aterros de alta responsabilidade como por exemplo barragens hidrelétricas. Esta inspeção garantirá que foi atingido o requisito especificado de **compactação** em cada camada;
- A **equipe responsável** pela construção e pela operação será totalmente independente da equipe responsável pela produção. A equipe responsável pelo sistema de rejeitos terá autoridade sobre os materiais e métodos construtivos e, a qualquer tempo, em se verificando inadequação que possa mesmo que remotamente por em risco as barragens, terá autonomia de delegação para interromper a operação até que se solucione os problemas identificados, a despeito de quaisquer prejuízos de produção e financeiros que possam ocorrer;
- Além do cuidado já previsto de utilização de materiais de construção com drenagem e compactação adequados, está também prevista a construção de um **filtro septo** ao longo de

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 30/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

todo o corpo da barragem, que eliminará rapidamente qualquer infiltração que pudesse migrar para o talude de jusante, parte mais solicitada da barragem;

- A **filosofia de projeto** é a adoção das melhores práticas para construções deste tipo, priorizando-se a **segurança**. Neste momento, tem-se um projeto conceitual. Quaisquer melhorias tecnológicas que possam surgir para melhoria do desenho destas obras serão avaliadas e incorporadas se aplicáveis, seja em instrumentação, automação, tecnologia de materiais, etc.

8.3.4 Instabilidade Estrutural

A ruptura local ou global dos taludes de uma barragem ocorre pela redução do fator de segurança provocado por diversos mecanismos, principalmente: erosões nos taludes de jusante ou montante, elevação do nível freático, deformação excessiva, rebaixamento rápido do reservatório, eventos sísmicos, colmatagem de filtros e drenos, deficiência na compactação do maciço, falhas no tratamento de fundação e erros de projeto.

Segundo consta do projeto conceitual, a barragem apresentou fatores de segurança satisfatórios, bem superiores aos recomendados pela NBR 13.028/2017 indicando a estabilidade geotécnica da Barragem 1 em todas as etapas do projeto. Na Tabela 8.2 estão replicados os resultados das análises de estabilidade realizados no projeto conceitual da referida estrutura, constantes no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-31.

Tabela 8.2 – Resultados das análises de estabilidade da Barragem 1

Etapa	N.A	Condição	Talude	FS Requerido	FS Obtido
Dique de Partida	Operacional	Final de Construção	Jusante	1,30	1,30
			Montante		1,31
		Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,55
			Entre Bermas	1,50	1,85
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,55
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,49
Barragem Final	Operacional	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	2,17
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	2,17
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,98

Apesar de abalos sísmicos nessa localidade raramente possuem magnitude e intensidade elevadas, podem ocorrer terremotos causados por desgastes na placa tectônica, promovendo possíveis falhas

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 31/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

geológicas. Desta maneira, no projeto conceitual da Barragem de Rejeitos 1 também foram realizadas análise de estabilidade sísmica induzida por sismo natural. Os fatores de segurança resultantes dessas análises foram superiores ao valor recomendado pela NBR 13.028/2017, indicando a improbabilidade de ruptura do maciço por montante. Em função da fase atual do empreendimento, não foram realizadas análises pseudo-estáticas para a avaliação da estabilidade da Barragem 1 para o sismo desencadeado por detonações, devido ao fato da necessidade de medição da frequência em campo, para assim poder-se determinar a aceleração de pico. Nesta etapa dos estudos, a WALM recomenda que as detonações para Barragem 1 limitem-se a $V_{p,máx} = 25\text{mm/s}$, conforme recomendação técnica do U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation no paper *“Review of Present Practices used in Predcting the effects of Blasting on Pore Pressure”*, visando garantir a estabilidade do maciço quando da ocorrência de detonações.

Vale mencionar que , o projeto conceitual foi elaborado sem a realização de mapeamento geológico-geotécnico e investigações geológico-geotécnicas (não exigidos na fase atual dos estudos), sendo utilizadas informações extraídas de projetos anteriores em áreas próximas e informações fornecidas pela equipe da SAM. Assim, de forma conservadora, foi previsto um tratamento da fundação considerando a limpeza de 1,0 m em toda área da barragem, de maneira a garantir a remoção de todo material solto e da cobertura vegetal que poderiam ocasionar em eventuais recalques e/ou colapso da fundação e, conseqüentemente, a instabilidade da estrutura.

Diante do exposto, considera-se improvável a ocorrência de ruptura da Barragem 1 por instabilidade estrutural uma vez que os fatores de segurança estão superiores aos recomendados pela NBR 13.028/2017, indicando a estabilidade geotécnica da Barragem 1 para diferentes condições avaliadas, em todas as etapas do projeto.

8.3.5 Conclusões

Com base na avaliação dos possíveis mecanismos que podem levar o sistema ao rompimento da Barragem 1 e tendo em vista que é esperado que a estrutura seja implantada seguindo rigorosamente o especificado em projeto e as boas práticas de engenharia, não foram vislumbrados mecanismos de ruptura com probabilidades reais de ocorrência. Diante do exposto, de forma conservadora, assumiu-se como gatilho para o processo de ruptura o galgamento da barragem, pois, uma vez descartada a possibilidade de liquefação, as rupturas cuja gênese se dão por esse mecanismo geralmente produzem maiores danos a jusante.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 32/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Por definição, na ruptura por galgamento, o nível de água deve ser coincidente com o da crista da barragem e no modo de falha por *piping*, o nível de água é considerado na soleira do sistema extravasor ou fixado no NA Max. Maximorum. Desta maneira, o volume total propagado pelo modo de falha por galgamento tende a ser superior, e, por consequência, potencialmente mais danoso. Além disso, devido a tendência do processo de ruptura por piping ocorrer de maneira mais lenta, os hidrogramas de ruptura gerados por esse método costumam apresentar vazões de pico inferiores quando comparados aos hidrogramas gerados pelo processo de galgamento.

8.4 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

As avaliações apresentadas nos itens 8.1, 8.2 e 8.3 permitiram concluir que o cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1 ocorreria no ano 18 de operação, com o ponto de ruptura localizado na seção do barramento de maior altura, tendo por gatilho o modo de falha por galgamento. Para tanto, será considerado o nível d'água no reservatório coincidente com a cota da crista.

Cabe ressaltar que, nos estudos preliminares elaborados em 2021 para a identificação do cenário de maior dano (documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-36), foi observada que a mancha de inundação provocada pela ruptura hipotética da Barragem de Rejeitos 1 atinge as Barragens de água Industrial e do Córrego do Vale. Diante do exposto, na atualização dos estudos de ruptura hipotética da Barragem de Rejeitos 1 apresentada neste documento, foi considerada a ruptura simultânea das estruturas supracitadas.

Tendo em vista a relativa pequena dimensão da área de estudo e também a existência de barramentos distribuídos na mesma, optou-se por não considerar o efeito de vazão natural no vale a jusante. Sendo assim, foi considerado um único cenário:

CENÁRIO DE SIMULAÇÃO COM RUPTURA DA BARRAGEM 1

- ❖ Ruptura da Barragem 1, associada ao galgamento do maciço. Para esse cenário, considerou-se o efeito do hidrograma de ruptura hipotética da Barragem 1, combinado com a mobilização das barragens de água Industrial e barragem de água do Córrego do Vale. Nesse caso, adotou-se o nível d'água na elevação da crista da Barragem 1 no momento da ruptura e nível d'água normal para as demais.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 33/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

9.0 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

9.1 HIDROGRAMAS DE RUPTURA

9.1.1 Formação da Brecha

Para simular o processo de evolução da brecha considerando os efeitos de erodibilidade do maciço, foi utilizado o modelo físico baseado em mecanismos de transporte de sedimento. Dessa forma, a evolução da brecha depende do equilíbrio entre as forças atuantes no maciço provocadas pelo escoamento (tensão de arraste) e as forças resistentes (tensão crítica de cisalhamento do solo).

A taxa de erosão é expressa pela relação linear entre coeficiente de erodibilidade do solo e a tensão de arraste do fluido a partir da equação abaixo (Deng et al., 2019):

$$\frac{dZ_b}{dt} = k_d(\tau_b - \tau_c)$$

Onde:

- dZ_b/dt é a taxa de erodibilidade vertical do maciço da barragem (kg/s/m^2);
- k_d é o coeficiente de erodibilidade do maciço da barragem (s/m);
- τ_b é a tensão de arraste do fluido (kPa); e
- τ_c é a tensão crítica de resistência ao cisalhamento do maciço (kPa).

O coeficiente de erodibilidade, k_d , foi definido pela equação empírica:

$$k_d = \frac{10 * \gamma_w}{\gamma_d} * \exp \left[-0,121 * c_{\%}^{0,406} * \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_w} \right)^{3,1} \right]$$

Onde:

- γ_w é o peso específico da água (kg/m^3);
- $c_{\%}$ é a porcentagem de argila no maciço, e;
- γ_d é o peso específico seco do material do maciço (kg/m^3).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 34/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

A variável τ_b , tensão de arraste do fluido, pode ser calculada pela equação:

$$\tau_b = \frac{\rho g n^2 Q^2}{A^2 R^{1/3}} = \rho g R I$$

Onde:

- n é o coeficiente de rugosidade de Manning.
- Q é a vazão que escoar pela brecha aberta no maciço (m^3/s);
- A é a área da seção da brecha (m);
- I é a declividade da linha d'água (m/m);
- R é o raio hidráulico da seção da brecha (m); e
- ρ é a densidade da mistura água/sedimentos ou rejeitos dados pela equação (kg/m^3):

$$\rho = \rho_w(1 - C_t) + \rho_d C_t$$

Na qual:

- ρ_w é a densidade da água (kg/m^3);
- C_t é a concentração de rejeitos na mistura; e
- ρ_d é a densidade aparente seca do rejeito (kg/m^3).

A vazão escoada pela brecha foi calculada a partir da equação de emboque a seguir, definida com adequações dos parâmetros obtidos por meio de testes de laboratório.

$$Q = k_{sm} * (c1 * b * h^{1,5} + c2 * m * h^{2,5})$$

Em que:

- b é a largura inferior da brecha (m);
- h é a altura da brecha (m); e
- m é a declividade do talude da brecha (m).

Já a tensão crítica de resistência do maciço (τ_c) pode ser obtida pelas seguintes formulações (Chang e Zhang, 2010; Annandale, 2006).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 35/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

$$\tau_c = \frac{2}{3} g d_{50} (\rho_s - \rho_w) t g \phi \quad P < 10\%$$

$$\tau_c = 6,8 (PI)^{1,68} P^{-1,73} e^{-0,97} \quad P \geq 10\%$$

Onde:

- g é a aceleração da gravidade (m/s^2);
- d_{50} é o diâmetro médio das partículas (m);
- ρ_s é a massa específica do solo (kg/m^3);
- ρ_w é a massa específica da água (kg/m^3);
- Φ é o ângulo de atrito do solo.
- PI é o índice de plasticidade;
- P é a percentagem de finos; e
- e é o índice de vazios

O processo de desenvolvimento da brecha, segundo as formulações utilizadas, se dá com uma geometria aproximadamente trapezoidal, podendo ocorrer tanto em uma região mais centralizada da estrutura, com desenvolvimento bilateral (Figura 9.1a), quanto na região de uma das ombreiras do maciço, acarretando em uma erosão unilateral (Figura 9.1b).

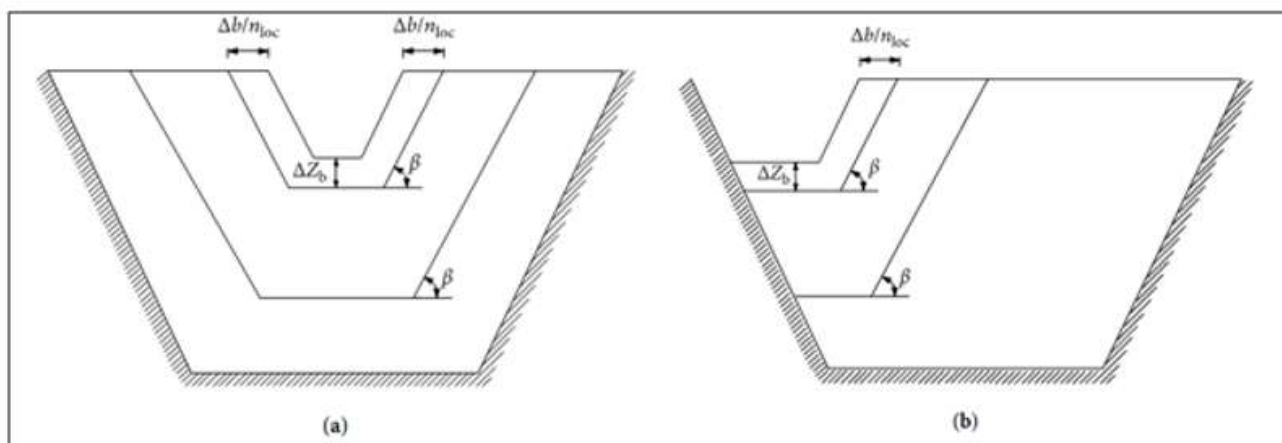


Figura 9.1 - Desenvolvimento da brecha (Deng *et al.*, 2019)

Em ambos os casos, o incremento da largura da brecha, expresso pelo termo “ Δb ” é dado pelo aumento da altura da brecha “ Δz_b ”, conforme explicitado na equação a seguir:

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 36/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

$$\Delta b = \frac{n_{oc} \Delta z_b}{\text{sen} \beta}$$

Onde:

- n_{oc} representa o modo de erosão; $n_{oc} = 1$ para erosões na ombreira e $n_{oc} = 2$ para erosões no meio do maciço; e
- β é o ângulo do talude da brecha.

Para a definição do nível de água no reservatório durante a ruptura, foram utilizadas equações de balanço de massa.

Para maiores esclarecimentos sobre as formulações adotadas, consultar Deng et al. (2019) e Chang e Zhang (2010).

9.1.2 Definição do volume de material mobilizado

Parte da análise realizada em estudos de ruptura hipotética diz respeito ao volume de material armazenado que é propagado para jusante da estrutura analisada. Assim, definiu-se a formação de cunha de ruptura elipsoidal partindo da fundação do barramento no ponto crítico e seguindo a declividade 1%, considerada como o ângulo estável dos rejeitos pós ruptura. O volume de água livre e rejeito mobilizado estão apresentados na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Volumes mobilizados nos reservatórios.

Fração	Estruturas		
	Barragem 1	Barragem Industrial	Barragem do córrego do Vale
Água livre (m³)	31.590.563,37	19.322.109,58	1.639.739,60
Rejeitos (m³)	544.223.821,52	-	-
Total mobilizado (m³)	575.814.384,89		
Percentual mobilizado	61,8%	100%	100%

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 37/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

9.1.3 Hidrogramas de Ruptura

Os parâmetros utilizados nas formulações de desenvolvimento da brecha foram definidos a partir dos ensaios apresentados no projeto conceitual da Barragem 1 (MINA_BLC8007-1010-G-RE-31) e estão apresentados na Tabela 9.2. Ressalta-se que se considerou para o maciço os parâmetros do *underflow* compactado.

Tabela 9.2 – Parâmetros modelo de erodibilidade.

Parâmetros de brecha	Coefficientes	Ponto crítico
Taxa de erodibilidade vertical do solo (m/s)	$\frac{dZ_b}{dt} = k_d(\tau_b - \tau_c)$	Figura 9.2
Coefficiente de erodibilidade (cm³/N.s)	$k_d = \frac{10 * \gamma_w}{\gamma_d} * \exp \left[-0,121 * c_{\%}^{0,406} * \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_w} \right)^{2,1} \right]$	4,61
Massa específica da água (kg/m³)	γ_w	1.000,0
Massa específica seca do material do maciço (kg/m³)	γ_d	2.740,00
Porcentagem de argila no maciço (%)	$c_{\%}$	0,93
Tensão de arraste do fluido (kPa)	$\tau_b = \frac{\rho g n^2 Q^2}{A^2 R^{1/3}}$	0,37 – 261,86
Densidade da mistura água/rejeito (kg/m³)	$\rho = \rho_w(1 - C_t) + \rho_d C_t$	1.356,3
Densidade aparente seca do rejeito (kg/m³)	ρ_d	1.380,0
Concentração de rejeitos na mistura (V/V)	C_t	0,94
Vazão escoada pela brecha (m³/s)	$Q = k_m * (c1 * b * h^{1,5} + c2 * m * h^{2,5})$	Figura 9.3
Tensão crítica de resistência de resistência do maciço (Pa)	$\tau_c = 6,8(PI)^{1,68} P^{-1,73} e^{-0,97}$	0,96
Diâmetro médio das partículas do maciço (mm)	d50	0,13
Porcentagem de Finos (%)	P	19,0
Índice de Plasticidade (%)	PI	-
Índice de vazios	e	0,86
Ângulo de atrito do material do maciço (°)	ϕ	33,0
Modo de erosão	n_{oc}	2
Ângulo do talude da brecha (°)	β	31,75

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 38/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

A Figura 9.2 apresenta a variação da taxa de erosão ao longo do processo de abertura das brechas.

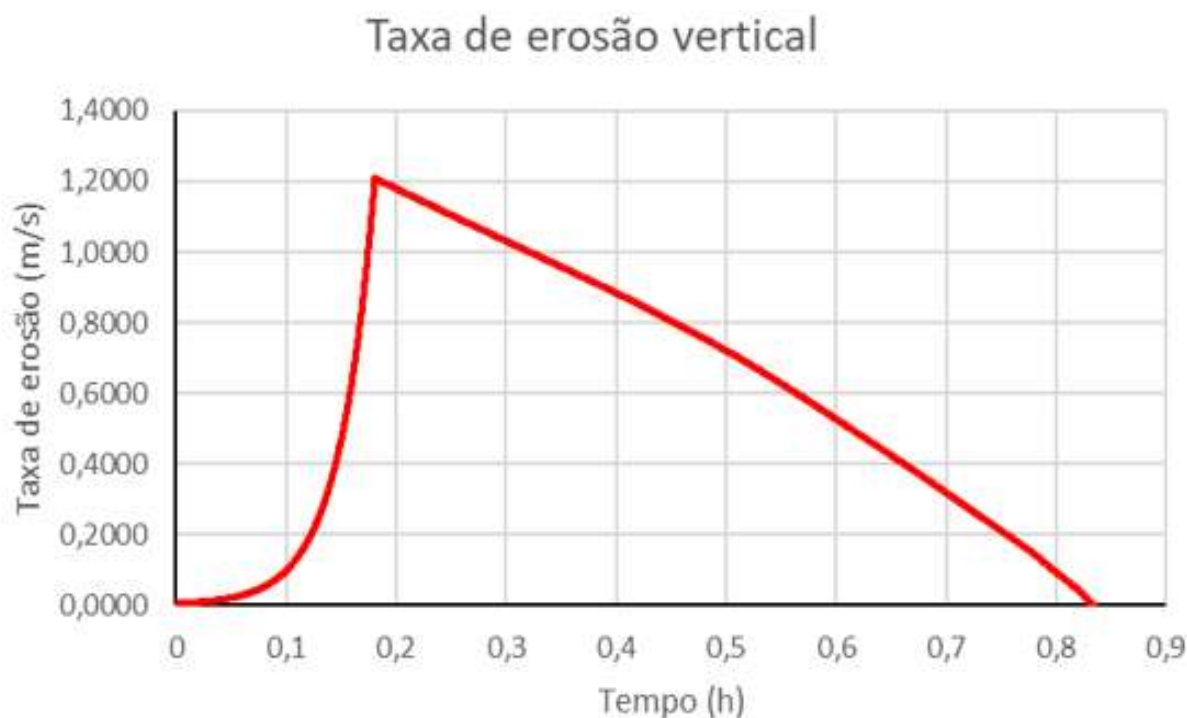


Figura 9.2 – Taxa de erosão.

O hidrograma de ruptura obtido é apresentado na Figura 9.3. Ressalta-se que o volume final propagado leva em conta a quantidade de material erodida do próprio maciço, nesse caso o valor foi de 587.814.384,89 m³. São apresentados na Tabela 9.3 os valores característicos do hidrograma de ruptura.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 39/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02



Figura 9.3 – Hidrogramas de ruptura resultante – Barragem 1.

Tabela 9.3 – Parâmetros do hidrograma de ruptura.

Parâmetro	Ponto crítico
Tempo de formação (h)	0,18
Tempo de pico (h)	0,18
Vazão de pico (m³/s)	662.575,26
Volume total propagado (m³)	587.814.384,89

No caso das barragens de água Industrial e do Córrego do Vale, para possibilitar a modelagem da mobilização instantânea das mesmas a partir do momento em que a onda de ruptura proveniente da Barragem 1 atinge a fundação das demais, foi necessário a simulação da ruptura das duas primeiras de forma isolada, sendo aferidos os hidrogramas defluentes em seções imediatamente a jusante dos barramentos.

Dessa forma, foi possível simular em um único modelo a ruptura da Barragem 1 com a introdução das vazões provenientes dos hidrogramas de rupturas das barragens Industrial e do Vale. Cabe ressaltar que em versão preliminar do modelo de ruptura da Barragem 1 foi verificado que a onda

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 40/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

atinge a fundação das Barragem do Industrial em cerca de 15 minutos e da Barragem do Vale em cerca de 17 minutos.

A Figura 9.4 apresenta os hidrogramas obtidos para a ruptura instantânea das barragens de água Industrial e do Córrego do Vale.

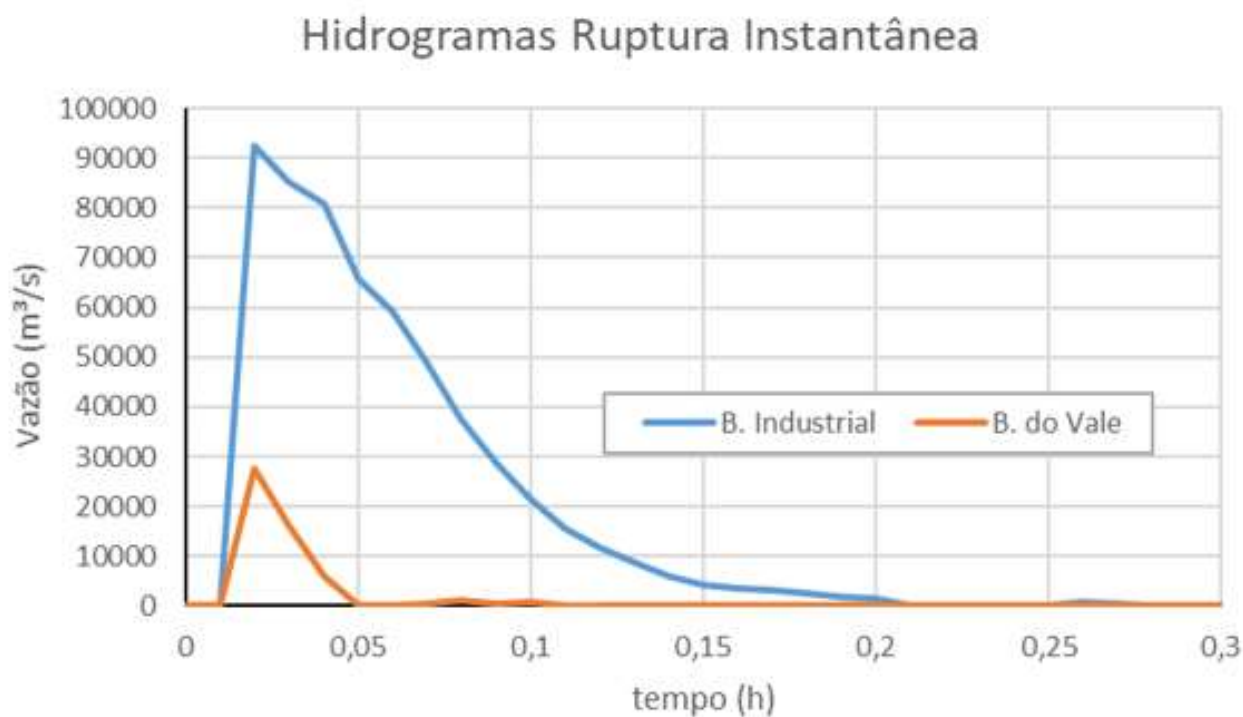


Figura 9.4 – Hidrogramas de ruptura barragens de água Industrial e do Vale.

9.2 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE RUPTURA

Nesse item estão apresentados os critérios, metodologias e resultados da propagação dos hidrogramas de ruptura.

9.2.1 Descrição do trecho de propagação

Conforme citado anteriormente, o presente estudo limitou-se a bacia de drenagem do córrego Lamarão até a seção da EAC. Isso porque com a consideração de uma cota superior para a EAC

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 41/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

(anteriormente na el. 750,00m e no atual estudo 779,00m) a mesma mostrou-se capaz de reter a totalidade dos efluentes mobilizados.

Ao longo do trecho de simulação, foram destacadas algumas seções de interesse, conforme relacionados na Tabela 9.4. A Figura 8.5 ilustra a localização das referidas seções.

Tabela 9.4 – Seções transversais selecionadas.

Seção Transversal	Distância ao ponto de ruptura (km)	Descrição
S-01	2,33	Córrego Lamarão a montante da confluência com o córrego do Vale
S-02	3,60	Córrego Lamarão a Jusante da confluência com o córrego do Vale
S-03	5,20	Seção intermediária córrego Lamarão
S-04	6,27	Seção intermediária córrego Lamarão
S-05	9,00	Seção final, imediatamente a montante da EAC
S-06	4,12	Córrego do Vale a montante da confluência com córrego Lamarão
S-07	4,99	Córrego do Vale pouco a jusante das barragens Industrial e do Vale
S-08	4,21	Seção intermediária na área da cava

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 42/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

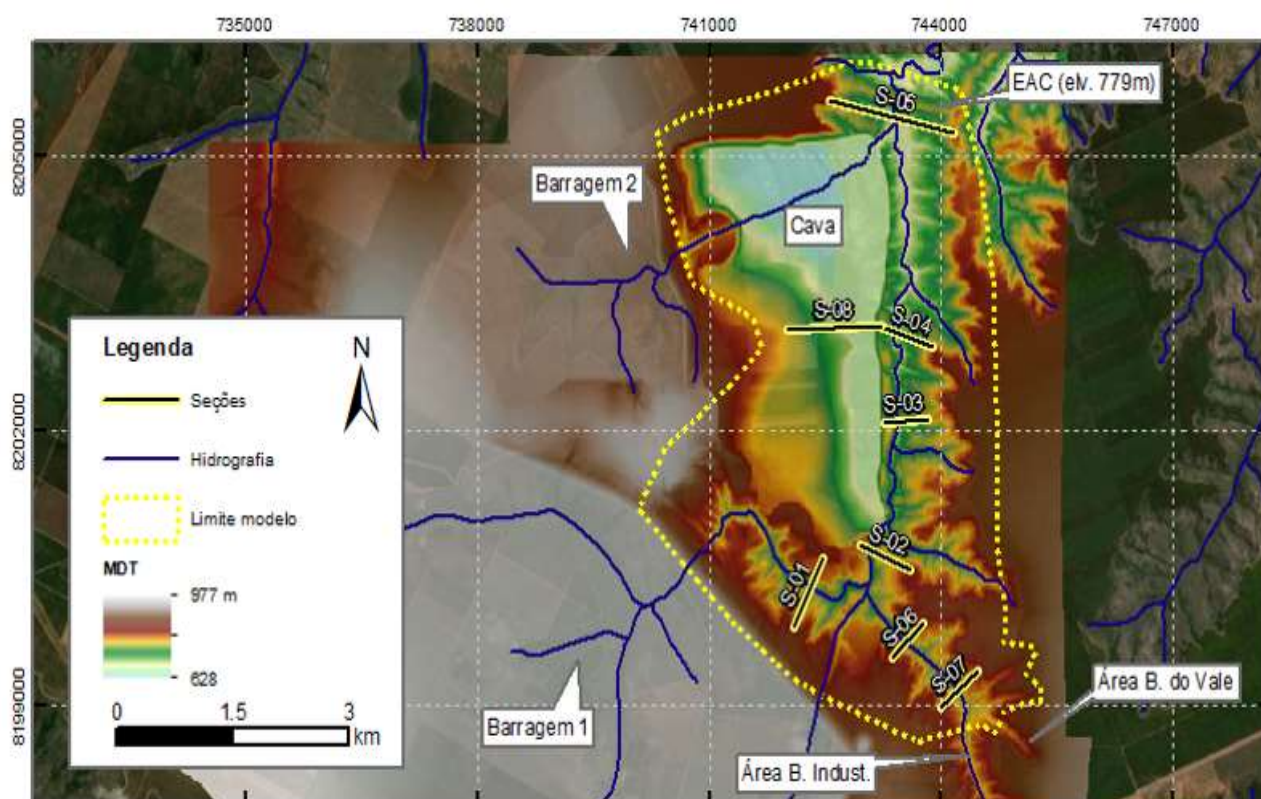


Figura 9.5 – Localização das seções transversais.

9.2.2 Modelo matemático computacional

Para a simulação da propagação da onda de ruptura hipotética e para a definição dos volumes escoados para fora dos limites da malha computacional, aplicou-se o modelo RiverFlow2D. Ressalta-se que foi considerado o escoamento não-newtoniano e, para tanto, foram calculados as tensões de escoamento e a viscosidade do fluido em função da concentração volumétrica obtida para a mistura de água livre, rejeitos mobilizados e o volume desprendido do barramento durante a evolução da brecha. No item subsequente serão apresentados os valores considerados para tais variáveis.

O modelo permite também a variação dos parâmetros supracitados a partir do cálculo da variação da C_v que ocorre à medida que fluidos em diferentes concentrações se misturam. Cabe ressaltar que o modelo desenvolvido assumiu uma configuração de leito rígida, ou seja, não é considerada a possibilidade de erosão do leito à medida em que o escoamento se propaga.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 43/60
		WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02

O passo de tempo computacional é adaptativo, sendo calculado em função das velocidades de escoamento e do próprio tamanho da célula da malha triangular. Assim, o passo de tempo é restrito a um valor inferior àquele que corresponde ao necessário para transpor uma célula da malha, dada a velocidade do escoamento, mantendo assim a estabilidade do modelo. Dá-se o nome de número de Courant, representado pela inequação a seguir.

$$C_0 = \frac{u\Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

Onde:

- C_0 é o número de Courant;
- u é a velocidade do escoamento;
- Δt é o intervalo de tempo da simulação; e
- Δx é o comprimento da malha.

A malha triangular gerada para os modelos possui tamanho variável, sendo a maior dimensão 15 m e a menor 5 m.

9.2.3 Parâmetros de resistência

Os coeficientes de rugosidade de Manning foram atribuídos a partir de valores reportados em bibliografia, considerando-se o julgamento de engenharia aplicado às variações da cobertura vegetal mapeada (Figura 9.6), e estão apresentados na Tabela 9.5.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 44/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02



Figura 9.6 – Uso e ocupação do solo para atribuição do coeficiente de Manning.

Tabela 9.5 – Parâmetros de rugosidade de Manning

Uso e Ocupação do Solo	Coeficiente de Manning
Água	0,025
Solo exposto	0,030
Vegetação rasteira	0,040
Vegetação densa	0,080
Área antropizada	0,10

Para a classificação da tipologia de ocupação do solo foram utilizadas imagens do satélite CBERS 04A, gratuitas, disponíveis em <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>, datadas de novembro de 2020.

Além da resistência relativa à rugosidade do terreno, representada pelo manning, no modelo foi considerado o escoamento não-newtoniano, sendo necessária a definição dos parâmetros de tensão

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 45/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

de escoamento e viscosidade e as equações que definem a variação desses em função da concentração volumétrica de sólidos na mistura (C_v).

Na ausência de estudos reológicos que permitam a construção das curvas de variação da tensão de escoamento e viscosidade para o material específico em função da variação da C_v , buscou-se utilizar dentre as equações disponíveis no próprio modelo RiverFlow, as quais foram definidas a partir de ensaios realizados a partir de casos reais.

Buscou-se adotar aquelas que apresentassem valores similares aos das equações propostas por Ribeiro (2015), $\tau_y = 514,2 \cdot C_v^{2,2425}$ e $\eta_p = 1,9421 \cdot C_v^{1,7811}$ para valores maiores de C_v e, ao mesmo tempo, que apresentassem valores de tensão e viscosidade compatíveis com o comportamento de água pura para pequenos valores de C_v . Tal avaliação se faz necessária uma vez que a concentração volumétrica do efluente das barragens Industrial e do Vale é relativamente baixa, uma vez que tratam-se de barragens para armazenamento de água.

Assim, foram adotadas as equações definidas por O'Brien (1988) e Dai (1980), para a tensão de escoamento e viscosidade dinâmica, respectivamente. A Figura 9.7 e Figura 9.8 ilustram as curvas utilizadas, os valores encontrados nos estudos de Ribeiro e o ponto calculado através das equações proposta por Ribeiro aplicando o C_v da Barragem 1.

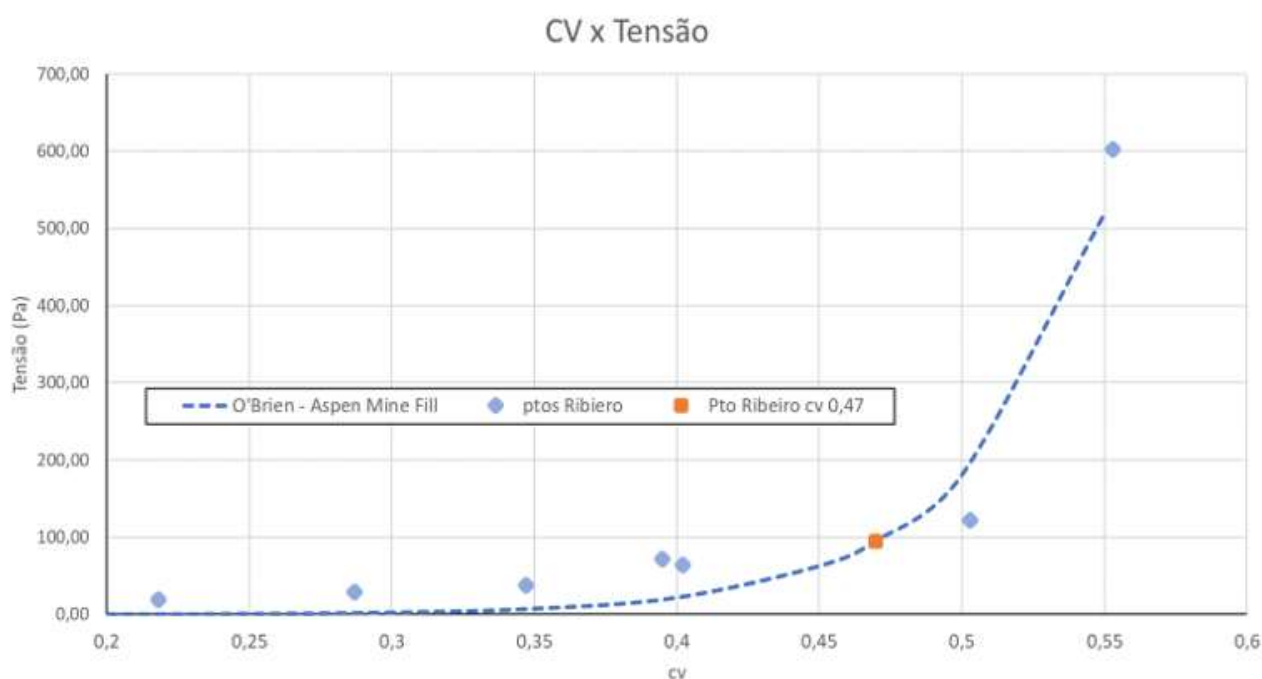


Figura 9.7 – Curva adotada para a variação da tensão de escoamento.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 46/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

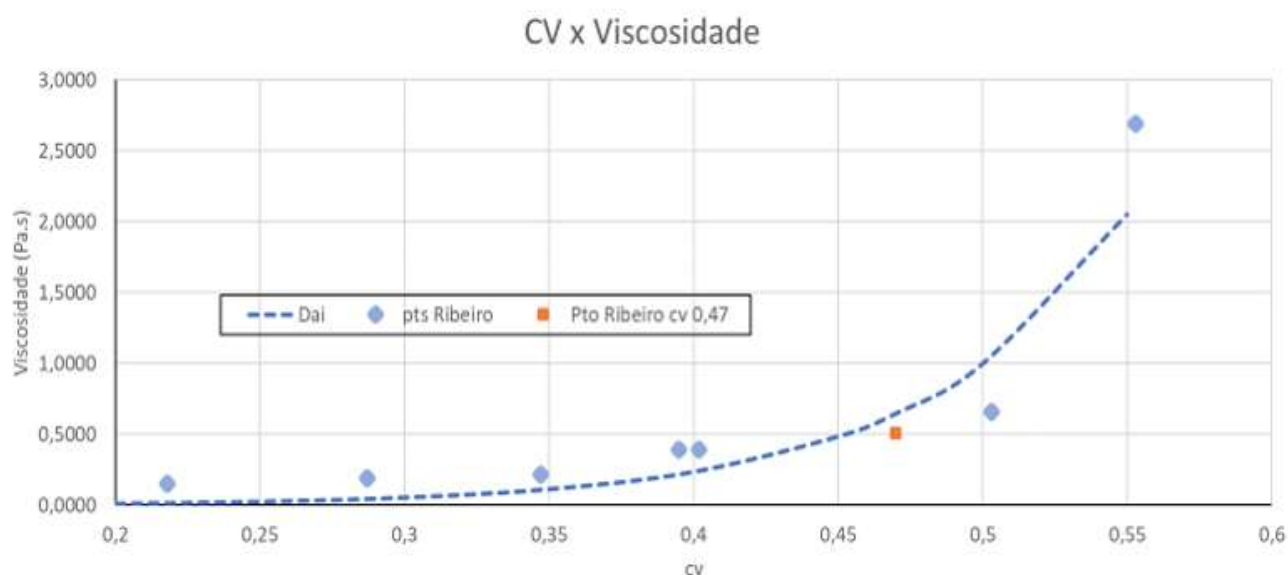


Figura 9.8 – Curva adotada para a variação da viscosidade.

A Tabela 9.6 apresenta os valores iniciais calculados para os 3 hidrogramas de ruptura envolvidos no modelo.

Tabela 9.6 – Parâmetros iniciais de resistência.

Hidrograma	Cv	Tensão de escoamento (Pa)	Viscosidade dinâmica (Pa.s)
Barragem 1	0,47	95,886	0,649
Barragem Industrial	0,02	0,007	0,001
Barragem do Vale	0,10	0,039	0,003

9.2.4 Definição do critério de parada

Foi utilizada como premissa para o fim do mapeamento de inundação a seção do eixo da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC).

9.2.5 Zona de Autossalvamento (ZAS)

De acordo com a Portaria no 70.389/2017 do DNPM, a Zona de Autossalvamento é definida como a região a jusante da barragem que se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 47/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

autoridades competentes em caso de acidente. De acordo com os critérios da Portaria, a Zona de Autossalvamento pode ser definida como a maior entre as distâncias atingidas pela mancha hipotética de ruptura da barragem a partir dos seguintes critérios:

- 30 (trinta) minutos; ou
- 10 (dez) quilômetros.

Tento em vista que a EAC se encontra à uma distância inferior a 10 km do barramento no ponto de ruptura, definiu-se como Zona de Autossalvamento (ZAS) toda a área atingida, cuja localização encontra-se interna ao futuro limite de áreas previsto para o empreendimento.

9.3 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

9.3.1 Seções transversais de referência

O mapeamento da inundação foi realizado a partir das informações e resultados gerados para toda a malha de simulação. Todavia, com o intuito de melhorar a interpretação e leitura dos resultados, selecionaram-se seções transversais ao eixo dos cursos de água localizadas em regiões de interesse para as quais se atribuíram parâmetros de inundação pertinentes, a saber:

- Profundidade máxima da inundação registrada na passagem do hidrograma de ruptura e na cheia natural;
- Vazão máxima e hidrogramas ao longo de todo o trecho;
- Velocidade máxima da inundação registrada na passagem do hidrograma de ruptura e na cheia natural;
- Tempos de chegada da frente de onda e de pico do hidrograma de ruptura.

Ao todo, foram selecionadas 8 seções de referência, cuja localização está apresentada no item 8.2.1 e em destaque nos mapas conforme tabela apresentada no Apêndice A.

9.3.2 Parâmetros de inundação mapeados

Os seguintes parâmetros de inundação foram mapeados no âmbito do presente estudo:

- Envolvência máxima de inundação;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 48/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

- Profundidade máxima de inundação;
- Mapa de velocidades;
- Mapa de tempo de chegada da frente de onda;
- Mapa de tempo para o pico da inundação; e
- Classificação do risco hidrodinâmico máximo da inundação. Referente ao produto máximo entre as velocidades e profundidades da onda.

O risco hidrodinâmico é definido como o produto máximo entre as velocidades e profundidades da onda. A classificação do risco hidrodinâmico auxilia na análise dos efeitos decorrentes de uma inundação e na interpretação do potencial de ameaça promovido pelo evento.

As classes desse parâmetro devem ser selecionadas de maneira a definir a vulnerabilidade de indivíduos, veículos e edificações em uma determinada área submetida à inundação. A vulnerabilidade está associada à possibilidade de desestabilização e consequente arraste pela inundação ou afogamento, no caso de indivíduos.

Atualmente, existe uma série de estudos que determinam critérios para a classificação do risco hidrodinâmico. Em geral, esses estudos são realizados para embasar e normatizar a classificação e mapeamento de inundações em determinadas regiões, estados ou países. Salienta-se que, até a data de emissão deste relatório, não foi determinada nenhuma norma brasileira para este tipo de classificação.

Dentre os critérios consultados, destacam-se aqueles apresentados na Tabela 9.7, adotados neste estudo para classificação do risco hidrodinâmico.

Tabela 9.7 – Estimativa das consequências associadas à classificação do risco hidrodinâmico (VISEU, 2008).

Risco Hidrodinâmico $H \times V$ (m^2/s)	Consequências
< 0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 – 1,0	Adultos são arrastados
1,0 – 3,0	Danos de submersão em edifícios e estruturais em casas fracas
3,0 – 7,0	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
> 7,0	Colapso de certos edifícios

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 49/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Na interpretação do mapa de risco hidrodinâmico, relacionado no Apêndice A, elaborado a partir dessa classificação, deve se considerar as incertezas oriundas ao estudo, tais como:

- Todos os limites refletem resultados médios de uma amostra e pode haver particularidades inerentes às áreas atingidas, as quais devem ser levantadas em campo;
- Apesar do estudo simular a propagação de uma mistura de água e sólidos não é considerada a capacidade do fluxo de provocar processos erosivos ao longo do trecho de propagação, que poderia alterar as condições do fluido e do próprio leito, modificando e possivelmente potencializando os danos da inundação.

9.4 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

Para a devida interpretação e conhecimento do potencial de dano associado à ruptura hipotética do sistema da Barragem 1, foram extraídos os parâmetros de profundidade, tempos de chegada e velocidades da inundação. Além desses parâmetros, também se apresentam os resultados de vazões de pico e seus respectivos tempos de ocorrência em cada seção de referência.

9.4.1 Hidrograma de Ruptura

Neste item são apresentados os resultados encontrados para os hidrogramas de ruptura defluentes da brecha formada na Barragem 1. A Tabela 9.8 apresenta uma síntese dos resultados obtidos no cálculo do volume escoado para jusante da Barragem 1.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 50/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Tabela 9.8 – Composição dos volumes para a etapa de propagação.

Parâmetros	Cenário Crítico
Volume Total (m³)	927.474.822,76
Volume de Água (m³)	31.590.563,37
Volume Rejeito (m³)	895.884.259,39
- Volume de água presa no rejeito (m³)	455.109.203,77
- Volume de sólidos - total (m³)	440.775.055,62
- Rejeito escoado para jusante (m³)	544.223.821,52
Volume da Brecha (m³)	11.557.311,86
- Volume de sólidos da brecha (m³)	6.200.455,63
- Volume de água presa na brecha (m³)	5.356.856,23
Volume de água escoada para jusante (m³)	313.960.887,95
Volume de sólidos escoado para jusante (m³)	273.410.808,79
Volume total escoado para jusante (m³)	587.371.696,75
Concentração Volumétrica do volume total escoado (%)	46,5
Porcentagem do volume total do reservatório escoado para jusante	63,33%

A evolução da brecha foi calculada utilizando as equações e parâmetros apresentados na Tabela 9.2. Além disso foram definidas as cotas da crista (El. 935,0 m) e a cota de fundo da brecha, coincidente com a elevação do terreno natural na fundação da barragem (El. 795,0 m). A Tabela 9.9 apresenta os dados obtidos para a geometria final da brecha, ilustrada na Figura 9.9.

Tabela 9.9 – Geometria final da brecha

Parâmetros	Barragem de Rejeitos 1
	Cenário crítico
Elevação do topo da brecha (m)	935,00
Elevação do fundo da brecha (m)	795,00
NA inicial (m)	935,00
Altura (m)	140,00
Largura fundo (m)	80,00
Largura topo (m)	536,30
Tempo de formação (min)	18

 SAM Sul Americana de Metais S/A	 Walm Engenharia	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 51/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

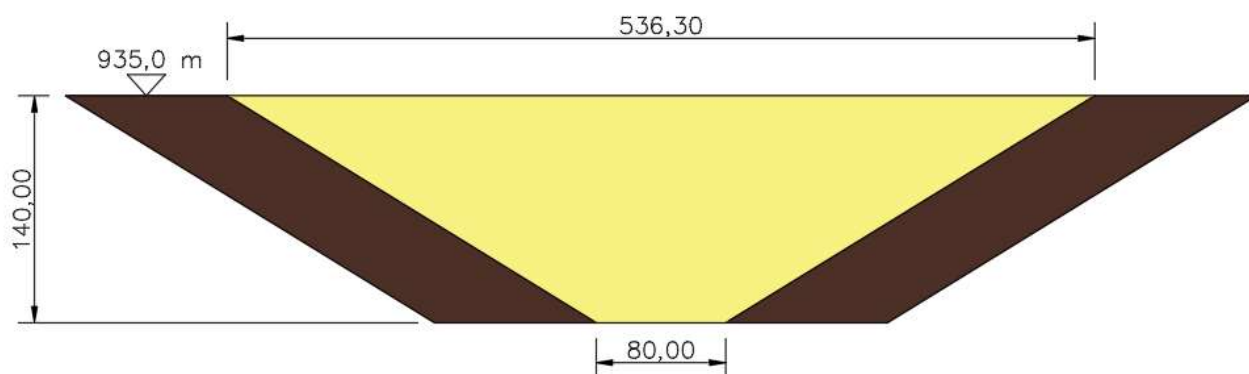


Figura 9.9 – Croqui da brecha – Barragem 1

O hidrograma resultante dessa simulação de abertura da brecha está apresentado na Figura 9.3. Conforme pode ser observado, o valor máximo de vazão de pico defluente, na ruptura da Barragem 1, é de 662.575,26 m³/s.

9.4.2 Propagação do Hidrograma

Os principais resultados obtidos nas seções representativas encontram-se apresentados, analiticamente, na Tabela 9.10 .

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 52/60
		WA05520000-1-GT-RTE-0002	Revisão 02

Tabela 9.10 – Resultado da modelagem hidrodinâmica nas seções.

Seção	Distância ao ponto de ruptura (km)	Profundidade máxima (m)	Velocidade máxima (m/s)	Tempo de chegada (h:mm)	Vazão máxima (m³/s)	Tempo para vazão máxima (h:mm)	Tempo para profundidade máxima (h:mm)	Descrição
S-01	2,33	78,31	22,28	0:15	246900	0:12	0:12	Córrego Lamarão a montante da confluência com o córrego do Vale
S-02	3,60	77,55	28,29	0:15	233200	0:12	0:21	Córrego Lamarão a Jusante da confluência com o córrego do Vale
S-03	5,20	58,27	13,13	0:21	29330	0:18	1:09	Seção intermediária córrego Lamarão
S-04	6,27	63,65	16,96	0:24	41480	0:21	1:15	Seção intermediária córrego Lamarão
S-05	9,00	83,31	12,63	0:18	29650	0:15	1:03	Seção final, imediatamente a montante da EAC
S-06	4,12	75,59	17,32	0:18	39710	0:15	0:21	Córrego do Vale a montante da confluência com córrego Lamarão
S-07	4,99	63,81	13,63	0:18	69540	0:15	0:18	Córrego do Vale pouco a jusante das barragens Industrial e do Vale
S-08	4,21	81,50	33,91	0:15	384000	0:12	1:09	Seção intermediária na área da cava

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 53/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

Verificando os tempos de chegada da frente de onda nas seções é possível identificar que a onda de ruptura não seguiu fielmente pelo talvegue do córrego Lamarão. O fluxo atingiu a área da cava e por esse caminho chegou primeiro à seção da EAC.

9.4.3 Requisitos do critério de parada e Zona de Autossalvamento (ZAS)

Uma vez que o volume do reservatório da EAC é capaz de conter todo o volume proveniente da ruptura hipotética da Barragem 1, sem que haja o galgamento da mesma e sem que o extravasor de emergência seja demandado, o fim do mapeamento de inundação se deu na seção do eixo da EAC (aprox. 9,50 km a jusante da Barragem 1). Portanto a Zona de Autossalvamento (ZAS) é definida como sendo a região entre a Barragem 1 e a EAC.

Vale ressaltar que a EAC foi concebida com um sistema de comporta que será programada para fechar automaticamente, contendo toda a onda de rejeitos provenientes de um possível rompimento da Barragem 1.

9.4.4 Descrição resumida do potencial de inundação

A área a jusante da Barragem 1 e a montante da EAC delimitada para o desenvolvimento do estudo (*Dam Break*) se insere na porção norte do estado de Minas Gerais e abrange uma extensão de aproximadamente 9,50 km. A aproximadamente 1 km a jusante da Barragem 1 encontra-se a cava da planta da SAM, a qual apresenta ocupação de área até a elevação 743,90 m (considerando a cenário crítico da Barragem 1, no cenário final de 18 anos).

Os trechos inundados são caracterizados como terreno natural, sendo estas áreas de campo ou de mata, ao longo da calha do rio, além de áreas antropizadas. O curso de água no percurso da mancha de inundação é o córrego Lamarão. Destaca-se ainda que nesse trecho não foi observado nenhum aglomerado urbano. Contudo, ao longo do córrego Lamarão existem algumas benfeitorias, que, em função do empreendimento, serão relocadas mediante o processo de negociação fundiária.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 54/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

10.0 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL

Conforme a Portaria ANM nº 70.389/2017, a classificação de barragem quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) é realizada de acordo com o volume do reservatório, a existência de população a jusante, impactos sociais, econômicos e ambientais, identificados com base nos estudos de ruptura hipotética.

Estes impactos são verificados através dos parâmetros de avaliação e do somatório de pontos que resultam na classificação por DPA, conforme apresentados na Tabela 10.1. Como referência de interferências, foram utilizados os limites definidos pela envoltória máxima de inundação, decorrente da ruptura hipotética do sistema de contenção e sedimentos apresentados no Apêndice A do presente documento.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37		Folha 55/60
	WA05520000-1-RH-RTE-0002		Revisão 02

Tabela 10.1 – Classificação quanto ao Dano Potencial Associado.

Volume Total do Reservatório	Existência de População a Jusante	Impacto Ambiental	Impacto Socioeconômico
MUITO PEQUENO	INEXISTENTE	INSIGNIFICANTE	INEXISTENTE
≤ 500 mil m³ volume total do reservatório (CMV) = 124.000 m.³	(não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem)	(área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT)	(não existe quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem)
(1)	(0)	(0)	(0)
PEQUENO	POUCO FREQUENTE	POUCO SIGNIFICATIVO	BAIXO
500 mil a 5 milhões m³	(não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	(área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT)	(Existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico e cultural na área afetada a jusante da barragem)
(2)	(3)	(2)	(1)
MÉDIO	FREQUENTE	SIGNIFICATIVO	MÉDIO
5 milhões a 25 milhões m³	(não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	(área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT)	(existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico e cultural na área afetada a jusante da barragem)
(3)	(5)	(6)	(3)
GRANDE	EXISTENTE	MUITO SIGNIFICATIVO	ALTO
25 milhões a 50 milhões m³	(existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)	(barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT)	(existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico e cultural na área afetada a jusante da barragem)
(4)	(10)	(8)	(5)
MUITO GRANDE	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO	-
≥ 50 milhões m³		(barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos, segundo a NBR 10.004 da ABNT)	
(5)		(10)	
RESULTADO DA AVALIAÇÃO		∑ DPA =	16

O somatório das pontuações obtidas por parâmetro de avaliação resultou em 16 pontos, conforme apresentado na Tabela 10.2.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 56/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

Tabela 10.2 – Pontuação total obtida na classificação por DPA.

DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)		
Referência	Item Avaliado	Pontuação
Tabela 10.1	Volume Total do Reservatório	5
Tabela 10.1	Existência de População a Jusante	5
Tabela 10.1	Impacto Ambiental	6
Tabela 10.1	Impacto Socioeconômico	0
PONTUAÇÃO TOTAL (DPA)		16

De acordo com as faixas de classificação, apresentadas na Tabela 10.3, a Barragem de Rejeitos 1 é classificado como Dano Potencial Associado ALTO.

Tabela 10.3 – Dano Potencial Associado da BR.

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO – DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	
Classificação	DPA
ALTO	≥ 13
MÉDIO	$7 < DPA < 13$
BAIXO	≤ 7
CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS	ALTO

11.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente documento, foi apresentada a revisão do estudo de ruptura hipotética para a Barragem 1, considerando as novas diretrizes estabelecidas pela Resolução da ANM n°32/2020.

Para as análises de *Dam Break* foi considerado um cenário de ruptura com o nível de água coincidente com a crista do barramento. O método de falha adotado foi de galgamento, sendo adotado modelo de erodibilidade de maciço.

O dano potencial associado (DPA) da Barragem 1 foi avaliado e classificado como **alto** (16 pontos totais) devido ao volume de reservação muito grande (5 ponto), em relação à população existente a jusante, a mancha de inundação atinge áreas do empreendimento com ocupação eventual (5 pontos); em relação ao impacto ambiental, são atingidas áreas de interesse espeleológico, localizadas dentro da área do empreendimento (6 pontos); e quanto ao impacto socioeconômico, para o cenário simulado, a mancha se restringe à ADA, não atingindo áreas residenciais ou agrícolas (0 pontos).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 57/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

Esta análise se baseou nos critérios previstos na Portaria ANM nº 70.389/2017. Vale mencionar que essa classificação foi realizada considerando o estudo de ruptura para o cenário identificado como o de maior dano, visando o atendimento da ANM nº32/2020. Todavia, em virtude da extensão do maciço da Barragem 1, recomenda-se nas fases futuras do projeto, quando do desenvolvimento da engenharia básica que os estudos sejam aprofundados considerando outros cenários com vistas sempre a minimizar riscos e impactos que poderão ser ocasionados, bem como reavaliar a pontuação, ora apresentada, para a classificação do dano potencial associado (DPA) da Barragem de Rejeitos 1.

Ressalta-se que no presente estudo considerou-se a cota da crista da EAC na elevação 779,0 m, cota suficiente para impedir a evolução da inundação. Nesse caso a cota máxima atingida pela onda de ruptura ao longo da EAC foi de 775,38m.

Por fim, cabe destacar que o estudo de ruptura hipotética realizado está sujeito a incertezas e limitações, decorrentes das metodologias utilizadas bem como da precisão dos dados básicos. Sobretudo, são válidas as seguintes considerações:

- As manchas de inundação determinadas podem ser definidas como a estimativa da área que seria coberta pela onda resultante da ruptura das estruturas estudadas e sua precisão é diretamente dependente da qualidade das informações do terreno, da sofisticação do modelo hidrodinâmico e da disponibilidade dos dados de entrada. Essa informação deve ser utilizada apenas como uma referência e poderá variar com as condições existentes na barragem e no vale a jusante durante o evento de ruptura;
- Não foram trabalhados critérios associados à qualidade das águas, especificamente a representação de eventuais plumas de turbidez e contaminação ao longo dos corpos hídricos considerados, tendo em vista que todo o volume mobilizado ficou retido a montante da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC). Essa estrutura foi concebida com um sistema de comporta que será programada para fechar automaticamente em caso de uma eventual ruptura da Barragem 1.

Os resultados encontrados estão mapeados nos documentos apresentados no Apêndice A.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 58/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

12.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RIBEIRO, V. Q. F., *Proposta de metodologia para avaliação dos efeitos de rupturas de estruturas de disposição de rejeitos*. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Geais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2015. 267p.

Lei nº 14.066/2020 – *altera a Lei Federal sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens*. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).

Lei nº 12.334/2010 – *Lei Federal sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens*.

Resolução nº 32/2020 da ANM – Altera a Portaria nº 70.839/2017 do DNPM e dá outras providências.

Portaria nº 70.389/2017 do DNPM – Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB.

BLIGHT G. (2010) *Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities*. Taylor & Francis Group, London, UK. 641p.

ICOLD and UNEP. *Bulletin 121: Tailings Dams - Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences*. Paris, 2001;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 59/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

APÊNDICE A – DESENHOS

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-37	Folha 60/60	
	WA05520000-1-RH-RTE-0002	Revisão 02	

Lista de mapas produzidos.

Numeração SAM	Numeração WALM	Descrição
MINA_BLC8007-1010-O-0119	WA05520000-1-RH-DES-0001	RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM1 (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO
MINA_BLC8007-1010-O-0120	WA05520000-1-RH-DES-0002	RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS
MINA_BLC8007-1010-O-0121	WA05520000-1-RH-DES-0003	RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) MAPA DE RISCO HIDRODINÂMICO
MINA_BLC8007-1010-O-0122	WA05520000-1-RH-DES-0004	RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) MAPA DE TEMPO DE CHEGADA DA FRENTE DE ONDA
MINA_BLC8007-1010-O-0123	WA05520000-1-RH-DES-0005	RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM 1 (DAM BREAK) MAPA DE TEMPO PARA MÁXIMA INUNDAÇÃO