

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 1/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

RELATÓRIO DE PROJETO

IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO

PROJETO CONCEITUAL

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A

Abril/2021

PROJETO CONCEITUAL	
MINA - ENGENHARIA	
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA	
IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO	
RELATÓRIO TÉCNICO	

[illegible]

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 3/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

SUMÁRIO

1.0	APRESENTAÇÃO	4
2.0	SUMÁRIO EXECUTIVO.....	6
3.0	OBJETIVO	8
4.0	DADOS BÁSICOS	9
4.1	PROJETOS DE REFERÊNCIA.....	9
4.2	TOPOGRAFIA.....	10
5.0	DESCRIÇÃO DA BARRAGEM 1 E ESTRUTURAS ASSOCIADAS	11
5.1	LOCALIZAÇÃO.....	11
5.2	ARRANJO GERAL	12
5.3	CURVAS COTA X VOLUME DOS RESERVATÓRIOS	16
6.0	DESCRIÇÃO DA ÁREA A JUSANTE	18
7.0	METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS	19
8.0	ESTUDOS PARA A DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO	19
8.1	CENÁRIO TEMPORAL	19
8.2	CENÁRIO LOCACIONAL DO PONTO DE RUPTURA	20
8.3	DEFINIÇÃO DO MECANISMO DE RUPTURA – MODO DE FALHA.....	21
8.4	IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO MAIS CRÍTICO	29
9.0	HIDROGRAMA DE RUPTURA.....	29
9.1	FORMAÇÃO DA BRECHA.....	29
9.2	DEFINIÇÃO DO VOLUME DE MATERIAL MOBILIZADO	33
9.3	DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA.....	33
10.0	PROPAGAÇÃO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA.....	36
10.1	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA.....	37
10.2	MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO	39
10.3	RESULTADOS	39
11.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 4/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

1.0 APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta os estudos preliminares elaborados com intuito de determinar o evento hipotético crítico de ruptura da Barragem 1, inserida no Projeto do 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).

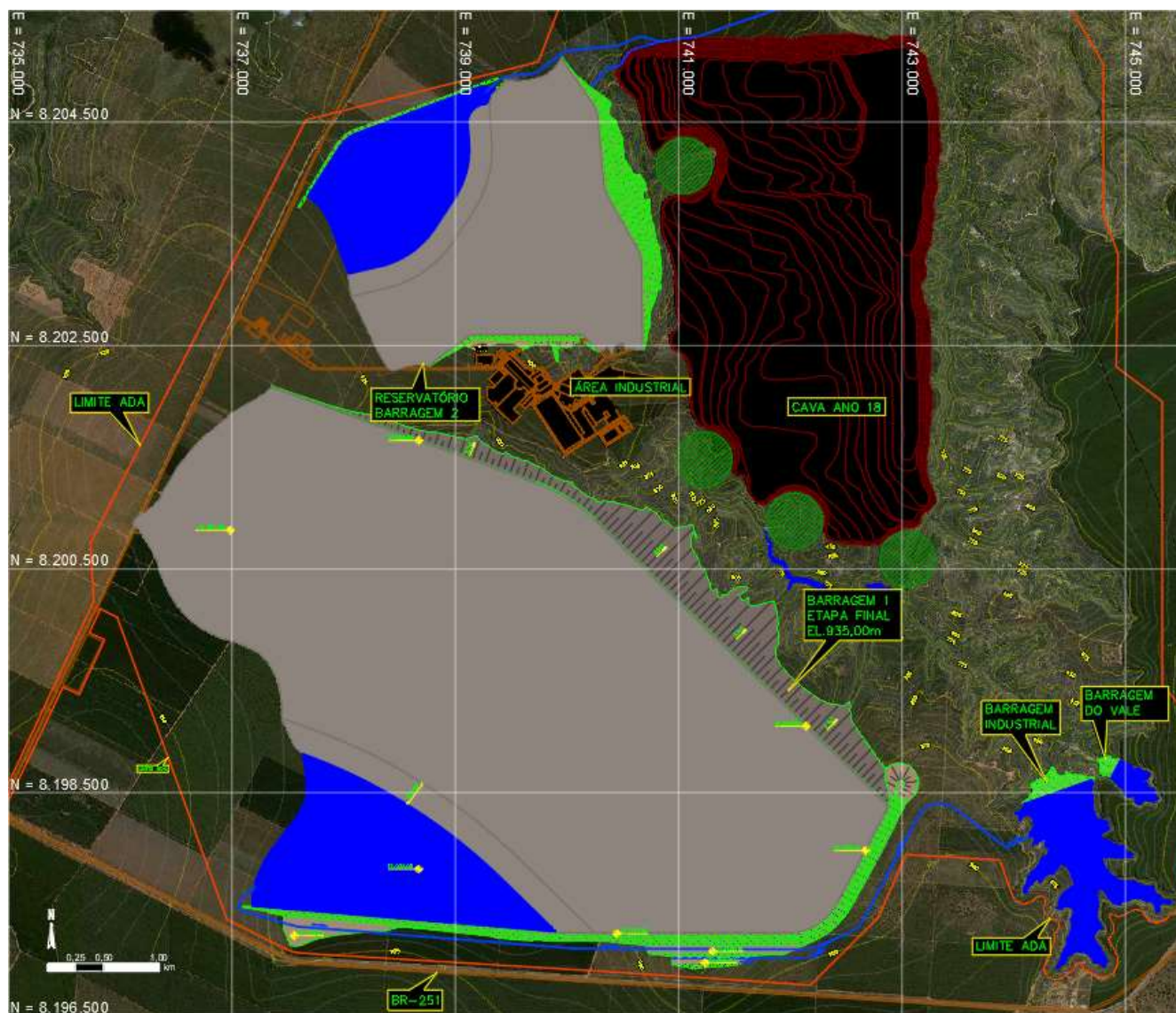


Figura 1.1 – Localização das estruturas.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 5/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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 dos impactos 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:

Dessa forma, fez-se necessário a identificação do cenário crítico de ruptura, 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.

Como complemento dos resultados, no presente documento, também foi pré-definida a cota da soleira do sistema extravasor de emergência que a Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) deverá possuir para ser capaz de conter a onda dos rejeitos provenientes de uma eventual ruptura da Barragem 1, considerando o cenário definido como o de maior dano.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 6/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

2.0 SUMÁRIO EXECUTIVO

Neste relatório são apresentados os estudos desenvolvidos para a definição do cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1.

O projeto conceitual do barramento foi elaborado pela Walm em outubro de 2018 e consiste, de forma sucinta, em um dique inicial executado em solo compactado até a elevação 890,00m, 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.

Para a definição do cenário crítico de ruptura, inicialmente verificou-se o 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. Dessa avaliação concluiu-se que o ano 18 possui o balanço mais desfavorável em termos volumétricos.

Após definido o cenário temporal, buscou-se determinar o ponto de ruptura ao longo da extensão do barramento da Barragem 1 com maior potencial de causar danos. Para tanto, admitiu-se a seção do barramento com a maior altura de maciço tendo em vista que esse ponto é o local onde a estrutura apresenta maior risco de falha e que acarreta em um maior volume mobilizado e propagado a partir da ruptura.

Por fim, foi verificado o mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso para o vale a jusante, dentre os mais prováveis de ocorrência.

Com base nas avaliações supracitadas, definiu-se que a ruptura hipotética da Barragem 1 ocorrendo no ano 18 de operação, com o ponto de ruptura localizado na seção do barramento de maior altura e tendo por gatilho o modo de falha por galgamento, como sendo o cenário crítico, ou seja, que ocasiona maiores danos a jusante.

O volume de rejeito mobilizado pela ruptura da Barragem 1 no cenário considerado mais crítico 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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 7/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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%.

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.

A partir da definição do volume e considerando-se as características geotécnicas dos materiais componentes do barramento da Barragem 1 no ponto de ruptura crítico, 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 erodida do próprio maciço (volume total mobilizado de 575.814.384,89 m³ acrescido do volume erodido do maciço de 11.557.311,86 m³).

A propagação do hidrograma de ruptura foi realizada com auxílio do modelo hidráulico bidimensional RiverFlow2D, considerando a concentração volumétrica (Cv) da mistura da massa de rejeitos mobilizada, água livre e barramento e, dessa forma, assumindo a condição de escoamento não-newtoniano.

O modelo restringiu-se aos limites da Área Diretamente Afetada (ADA) do empreendimento, especificamente até o eixo da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC), sendo monitoradas as vazões de saída, a fim de avaliar o cenário selecionado como o mais danoso.

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 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).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 8/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

Nos estudos de ruptura preliminares 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, tendo sido admitida a cota da soleira do sistema extravasor na EL.745,00m, e a cota da crista na EL. 750,00m.

Desta maneira, inicialmente, para a avaliação do cenário definido como o mais crítico, no presente documento, foi considerada a Estrutura Ambiental de CONTENÇÃO (EAC) projetada nos estudos anteriores com crista na EL.750,00 m.

Os resultados obtidos indicaram que a Estrutura Ambiental de CONTENÇÃO (EAC) com crista na EL.750,00m não foi capaz de conter a onda gerada pela ruptura hipotética da Barragem 1 pelo ponto 2, sendo propagado para jusante um volume remanescente de 192.147.966 m³.

Assim, foi realizada nova simulação considerando a implantação do maciço da EAC em altura infinita, sendo monitoradas as vazões de saída.

Os resultados obtidos nesta nova simulação mostraram que a onda de ruptura atingiu a elevação máxima no reservatório da EAC na EL. 775,36 m. Desta maneira, a cota da soleira do sistema extravasor capaz de conter toda a onda de rejeitos provenientes de uma eventual ruptura da Barragem de Rejeitos 1, no ponto considerado como o mais crítico, foi predefinida na EL. 776,00 m.

Vale ressaltar que a definição da cota da crista da EAC foi subsidiada pelos estudos hidrológicos para a passagem das cheias no extravasor da estrutura, considerando o preconizado pela NBR 13.028 (ABNT, 2017), constantes no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-38.

3.0 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é definição do cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1, capaz de provocar o maior impacto no vale a jusante, a partir da avaliação da localização espacial do ponto de ruptura, da variação temporal do empreendimento e do mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso, dentre os mais prováveis.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 9/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

De maneira mais detalhada os objetivos desse relatório técnico consistem em:

- Caracterizar a área de estudo e as estruturas envolvidas;
- Apresentar a metodologia adotada;
- Definir possíveis cenários de ruptura hipotética;
- Determinar o hidrograma de ruptura gerado pelo cenário definido como o mais crítico, e;
- Apresentar a propagação hidrodinâmica do hidrograma defluente, a fim de avaliar os impactos gerados pelo cenário crítico e definir a cota em que a Estrutura Ambiental de Contenção deve possuir para ser capaz de conter a onda gerada pela ruptura hipotética da Barragem 1, sem propagação de volume para jusante.

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

- Capítulo 4.0: onde estão apresentados os dados básicos para a elaboração deste estudo;
- Capítulo 5.0: o 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 de ruptura hipotética;
- Capítulo 9.0: onde são apresentados os estudos de propagação do hidrograma de ruptura e definida a cota da soleira do sistema extravasor da EAC.
- Capítulo 10.0: contemplando os comentários finais.

4.0 DADOS BÁSICOS

A seguir estão apresentados os documentos utilizados para os estudos de identificação do cenário de ruptura hipotética da Barragem de Rejeitos 1 de maior dano.

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.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 10/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

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-O-17	Disposição De Estéril E Rejeito Barragem do Vale Arranjo Geral - Planta e Seções Típicas	.dwg	WALM	29/06/18

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.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 11/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

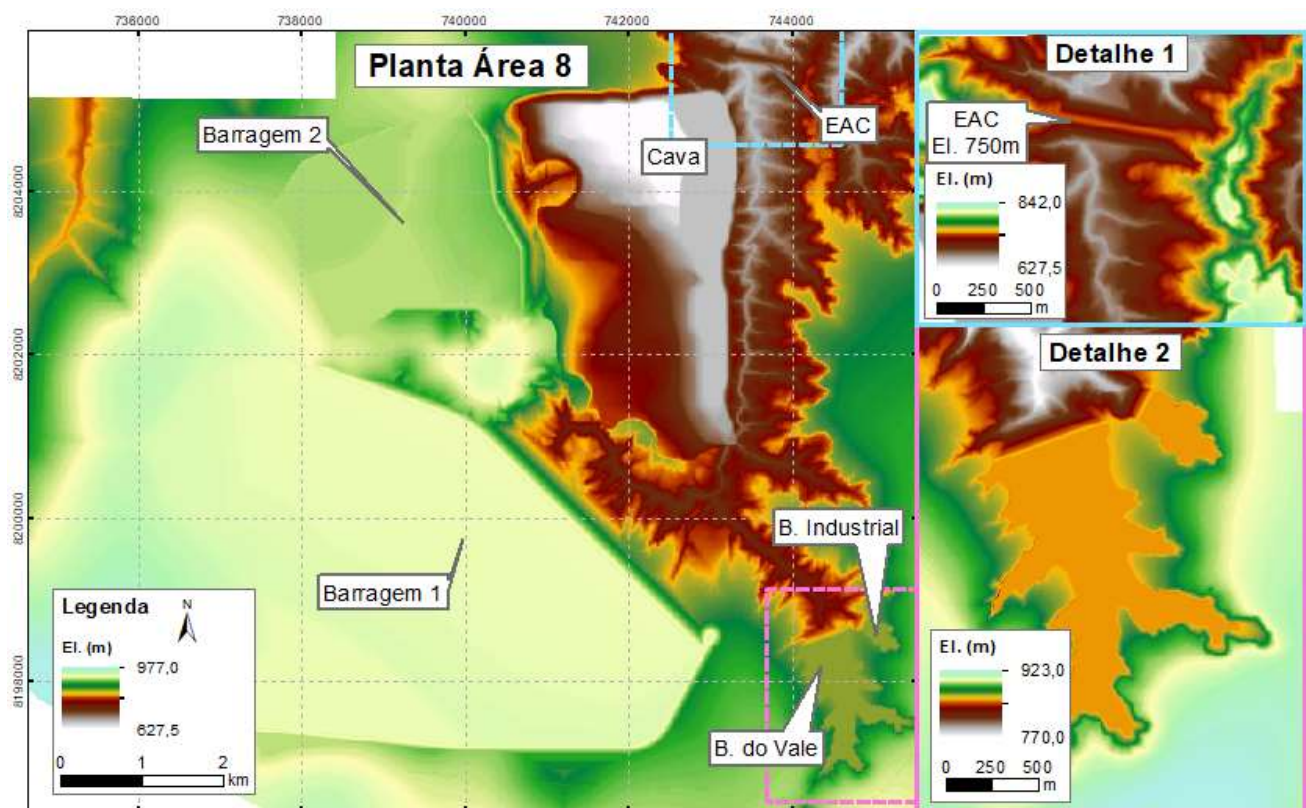


Figura 4.1 – Topografia utilizada no estudo.

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 12/44
		WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03

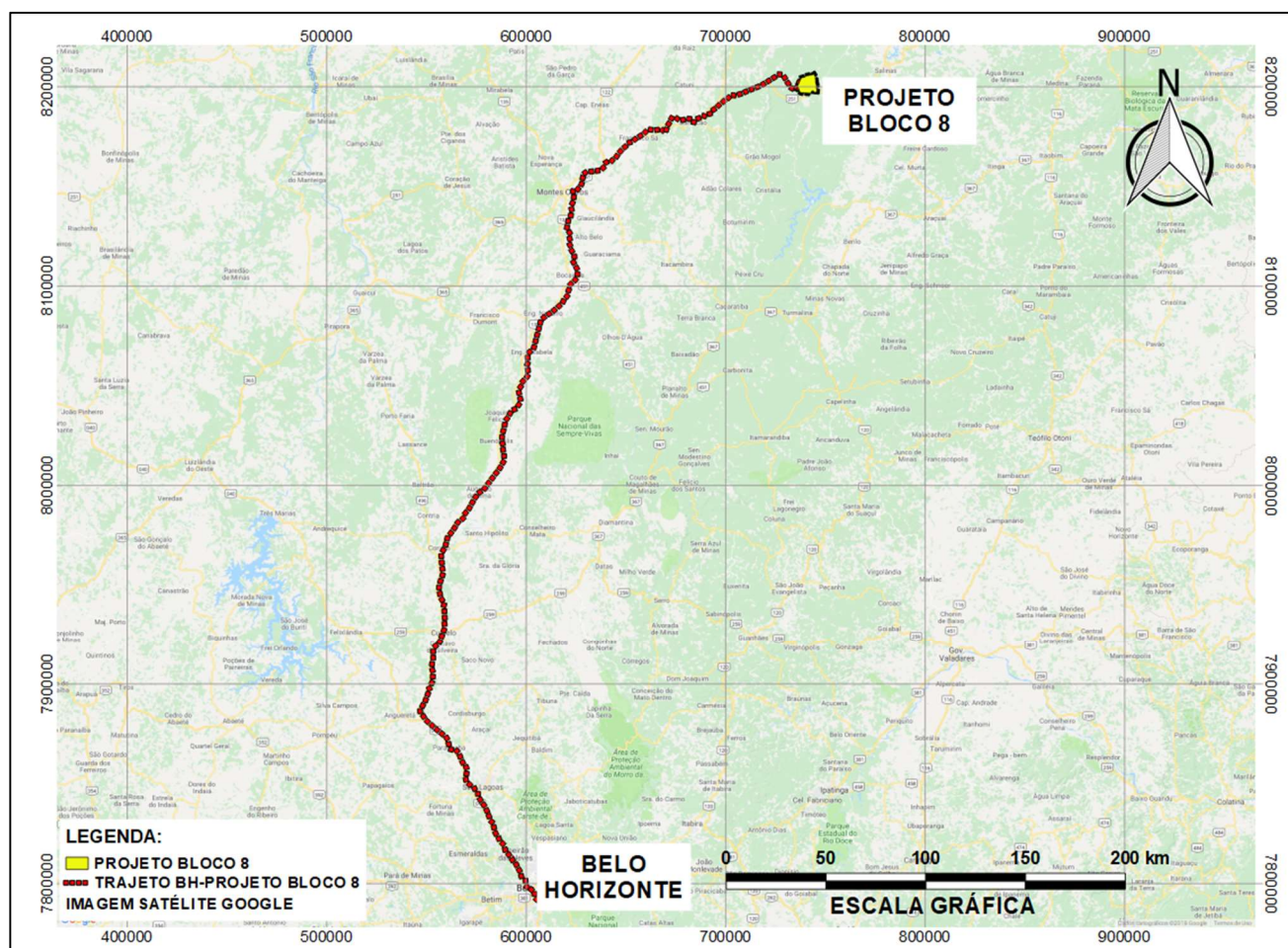


Figura 5.1 – Mapa de localização do Bloco 8 em relação a Belo Horizonte.

5.2 ARRANJO GERAL

O sistema de disposição de rejeitos do Projeto Bloco 8 será constituído 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 1,0V:2,0H e crista com 10,0 m de largura. O talude de montante do dique de partida terá inclinação de 1,0V:2,0H. A Figura 5.4 e Figura 5.3 apresenta o arranjo geral e seção do Dique de Partida, respectivamente. Na sequência, a Figura 5.4 e a Figura 5.5 apresenta o arranjo geral final e a seção final da Barragem 1.

 SAM Sul Americana de Metais S/A	 Walm Engenharia	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 13/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

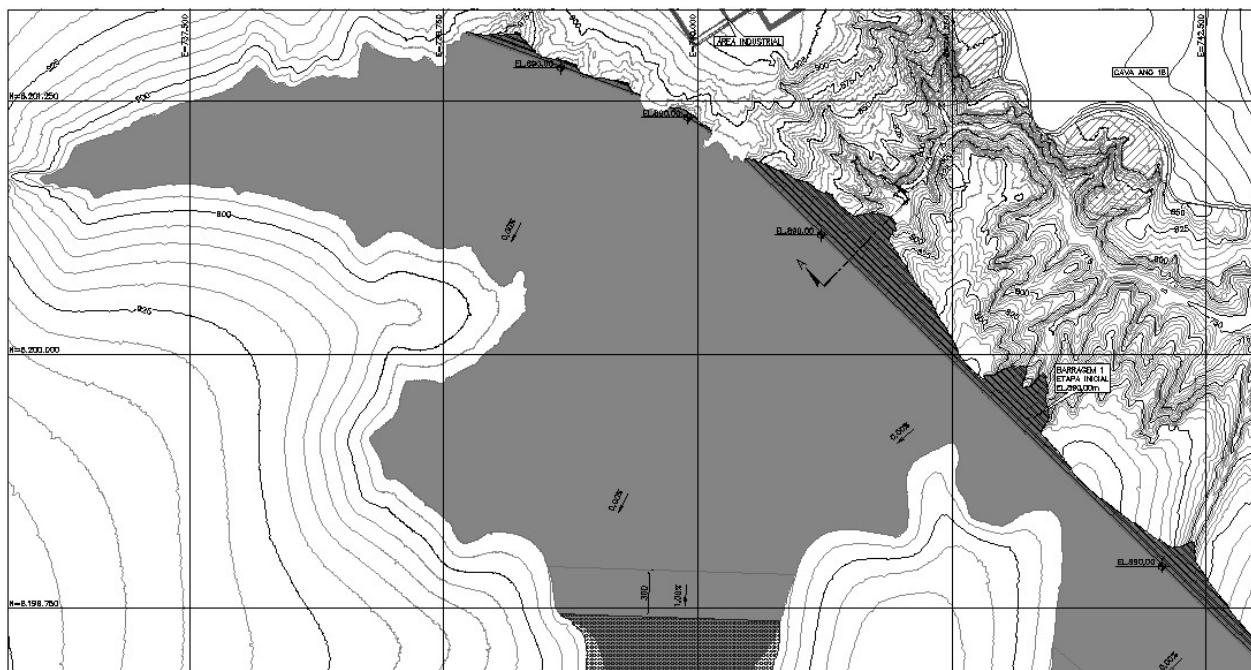


Figura 5.2 – Arranjo geral Dique de Partida.

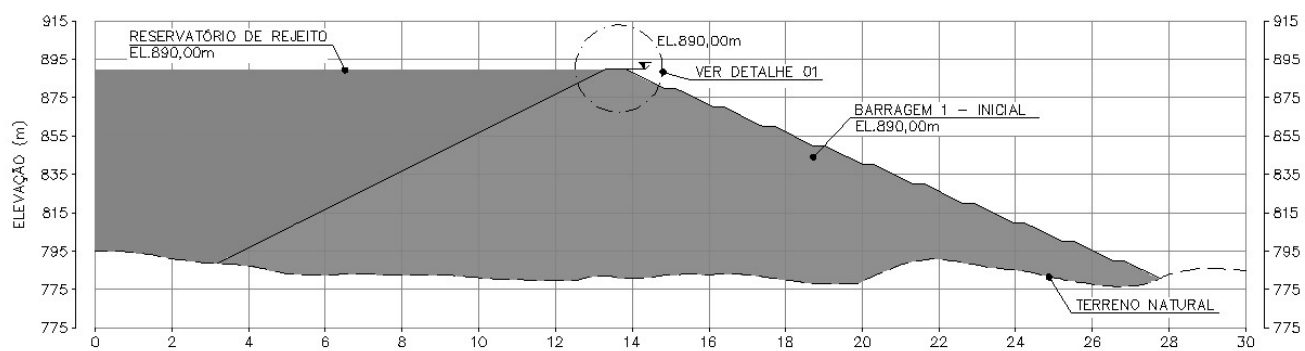


Figura 5.3 – Seção típica Dique de Partida.

 SAM Sul Americana de Metais S/A	 Walm Engenharia	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 14/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

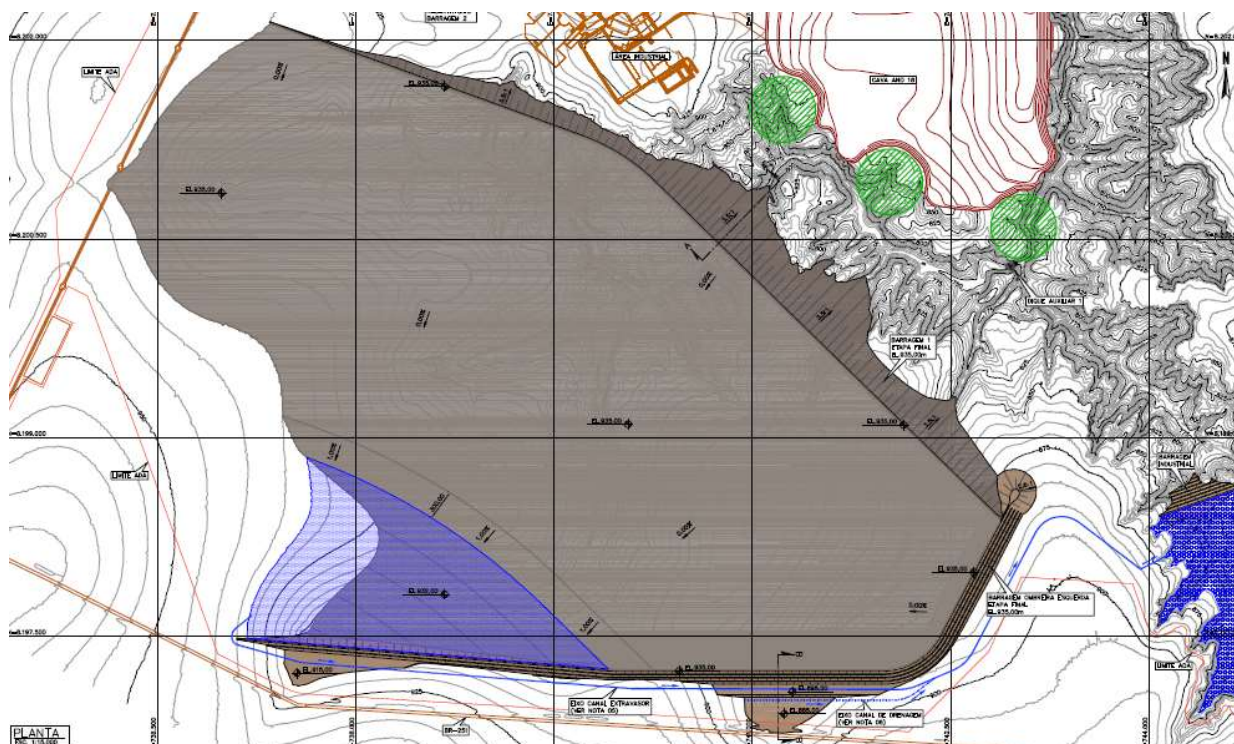


Figura 5.4 – Arranjo geral – Configuração final Barragem 1.

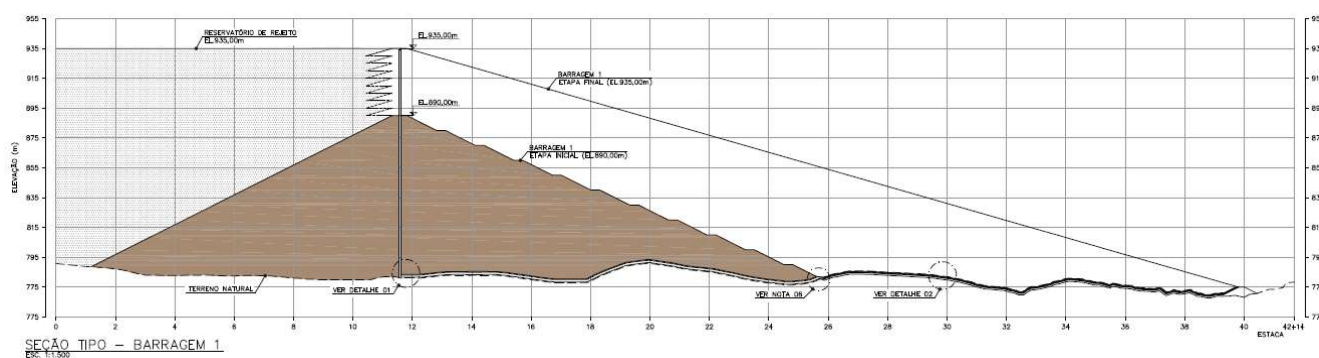


Figura 5.5 – Seção típica – Configuração final Barragem 1.

Para mais detalhes consultar os documentos “MINA_BLC8007-1010-O-64” e “MINA_BLC8007-1010-O-65”. A **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** apresenta a ficha técnica da estrutura.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 15/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 16/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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.

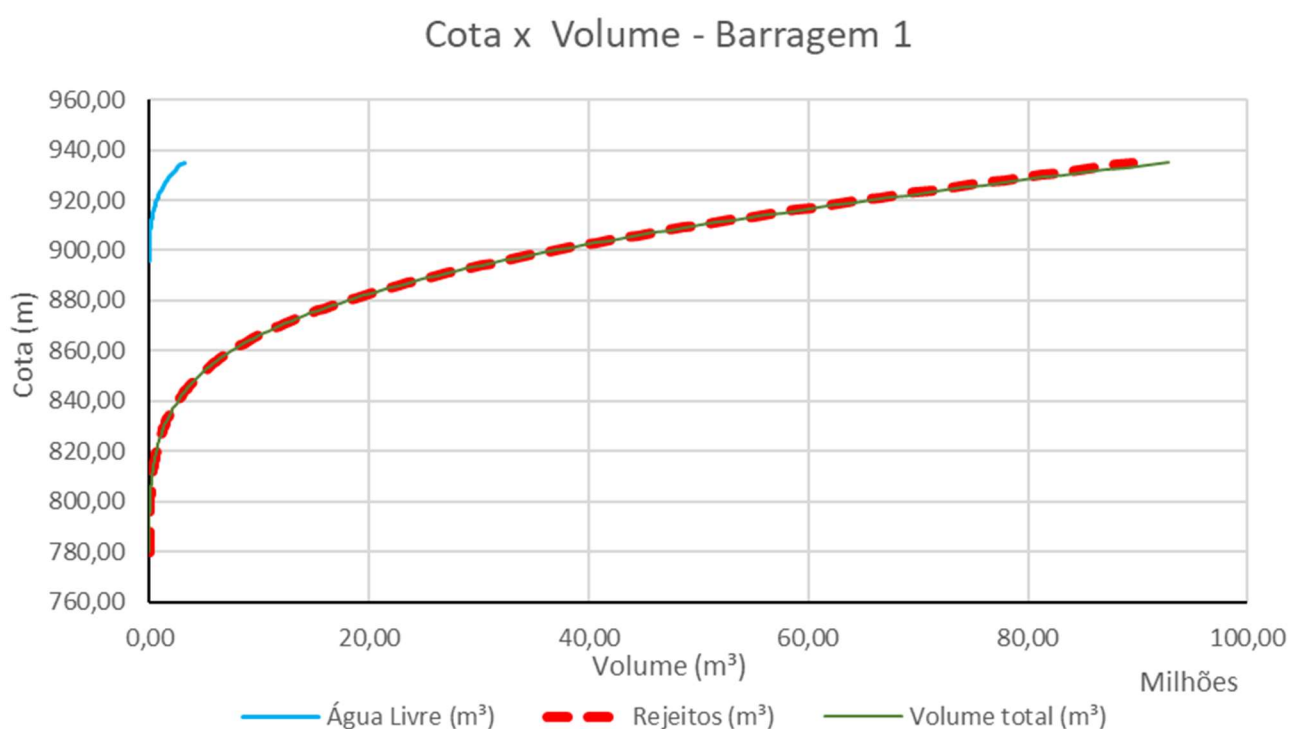


Figura 5.6 – Curva cota x volume Barragem 1.

 Sul Americana de Metais S/A	 Walm Engenharia	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 17/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

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

 SAM Sul Americana de Metais S/A	 Walm Engenharia	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 18/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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.

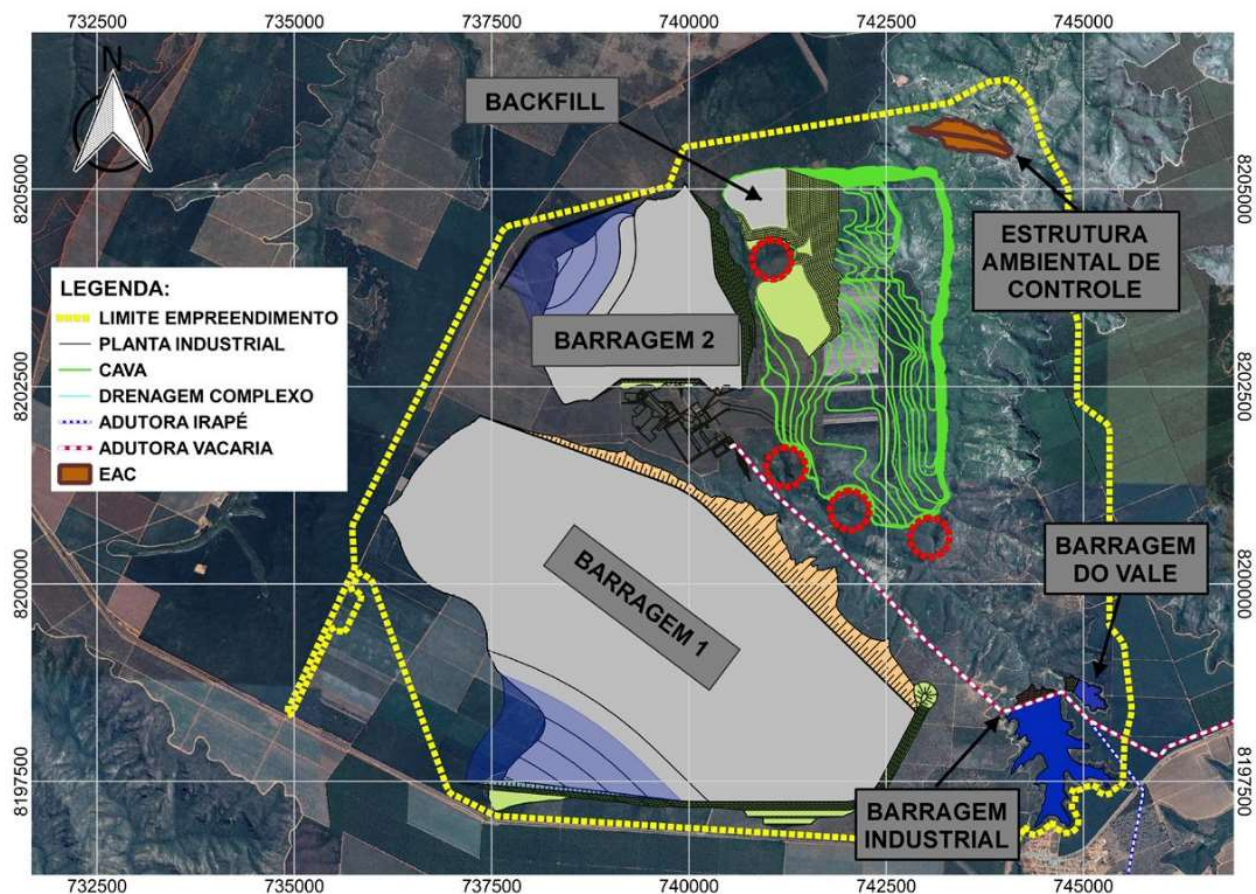


Figura 6.1 – Abrangência do trecho de simulação.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 19/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

7.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS

A metodologia utilizada para o estudo de definição de cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1 pode ser resumida em três etapas principais, a saber:

- Definição do cenário crítico em relação à evolução temporal do empreendimento;
- Escolha locacional do ponto de ruptura a partir da identificação da seção de maior altura ao longo de toda a extensão do barramento, e;
- Definição do mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso para o vale a jusante, dentre os mais prováveis.

Como complemento dos estudos, foi realizado o mapeamento do volume propagado para fora da área modelada a fim de se avaliar a Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) para o cenário considerado mais crítico.

8.0 ESTUDOS PARA A DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO

8.1 CENÁRIO TEMPORAL

Para consideração do pior cenário de ruptura hipotética das estruturas constituintes do Projeto Bloco 8 foi considerado o nível d'água nas mesmas coincidente com a cota das cristas.

Dessa forma, foi realizado um balanço entre a soma dos volumes armazenados nos barramentos e o volume 'de espera', disponível na área da cava, sempre considerando a geometria da cava do ano anterior. A Tabela 8.1 apresenta os valores encontrados, que apontam o ano 18 como de maior criticidade.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 20/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

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
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 e 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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 21/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

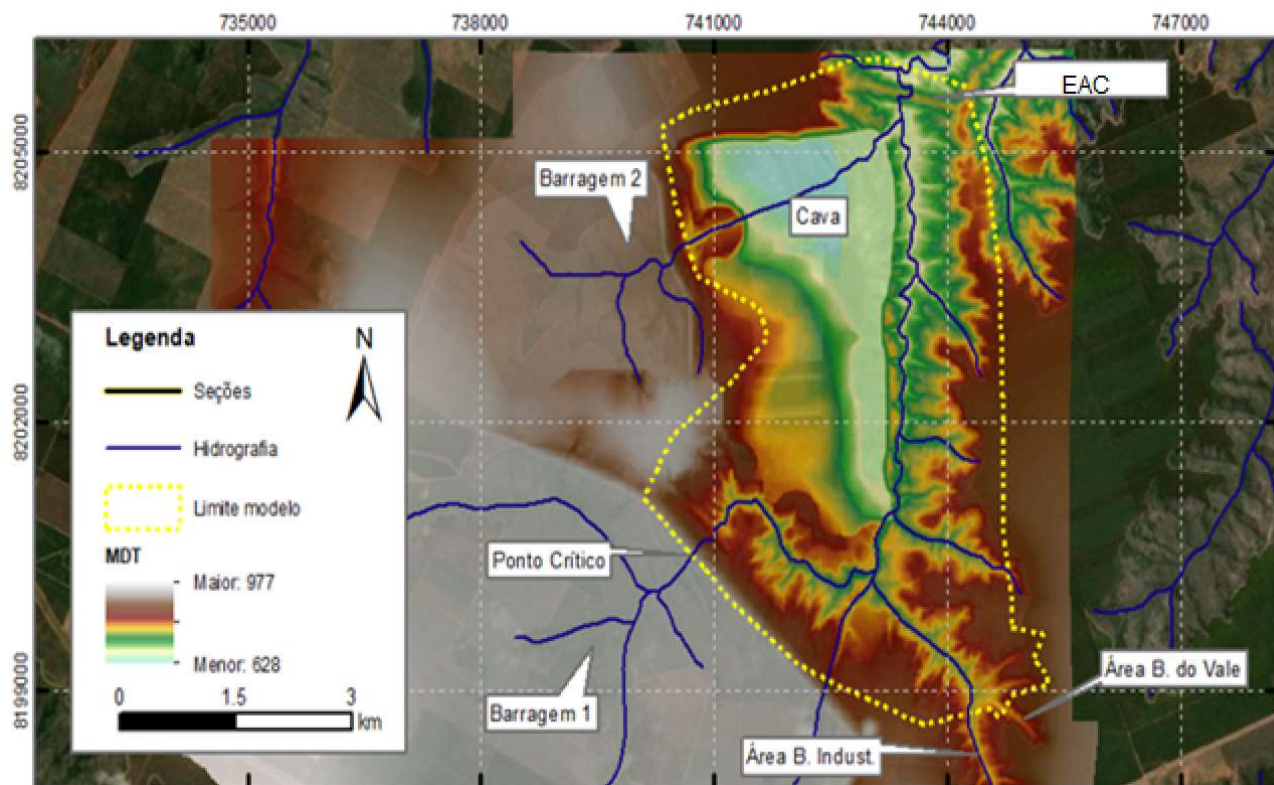


Figura 8.1 – Ponto crítico de ruptura.

8.3 DEFINIÇÃO DO MECANISMO DE RUPTURA – 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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 22/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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 maiores causas 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 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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 23/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

vertedouro. A montante da barragem não existe vegetação de grande porte, dessa forma, é muito 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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 24/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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.

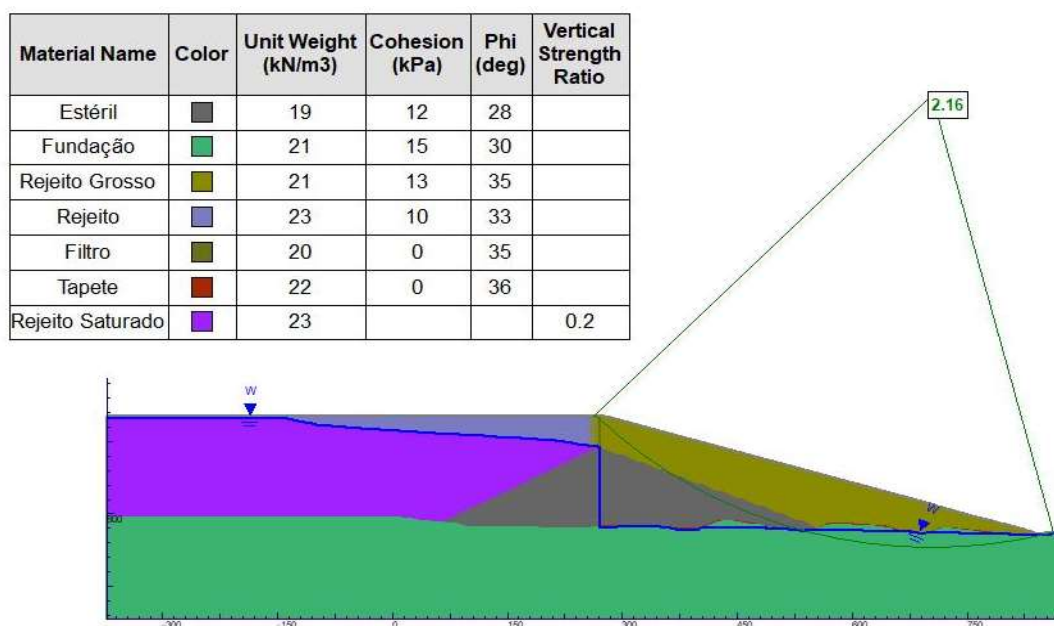


Figura 8.2 – Análise de Liquefação Estática da Barragem 1

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 25/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 26/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

rejeito fino (material 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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 27/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 28/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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 conversadora, 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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 29/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO MAIS CRÍTICO

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.

9.0 HIDROGRAMA DE RUPTURA

Neste item são apresentados os estudos desenvolvidos para a determinação do hidrograma de ruptura gerado pelo cenário identificado como o de maior dano.

9.1 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/m²);

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 30/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

- 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/m³);
- $c_{\%}$ é a porcentagem de argila no maciço, e;
- γ_d é o peso específico seco do material do maciço (kg/m³).

A variável τ_b 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 (m³/s);
- A é a área da seção da brecha (m²);
- 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/m³):

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

Na qual:

- ρ_w é a densidade da água (kg/m³);
- C_t é a concentração de rejeitos na mistura; e
- ρ_d é a densidade aparente seca do rejeito (kg/m³).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 31/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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).

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

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

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 9.1 a), quanto na região de uma das ombreiras do maciço, acarretando em uma erosão unilateral (Figura 9.1 b).

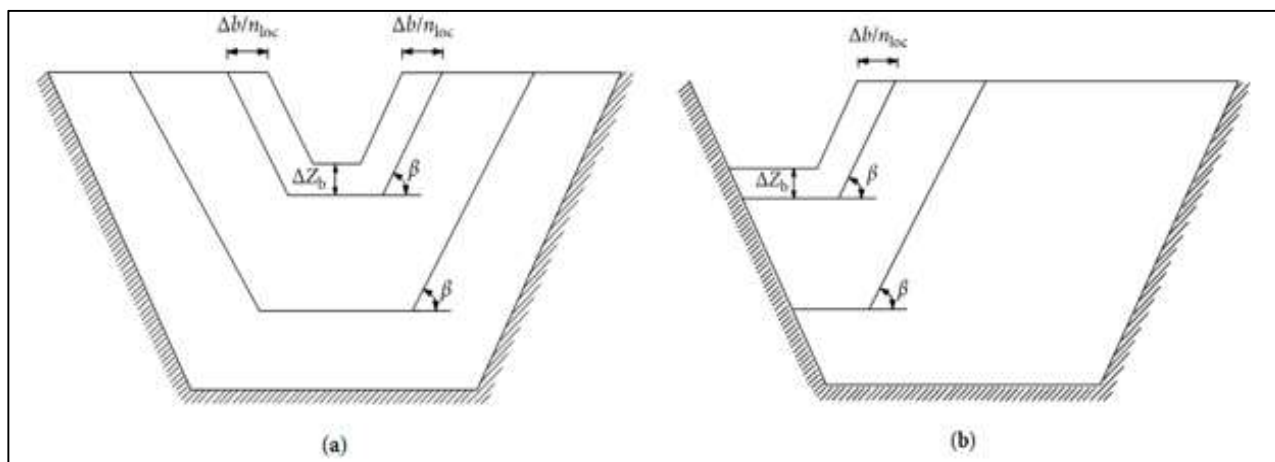


Figura 9.1 - Desenvolvimento da brecha (Deng et al., 2019)

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:

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

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).

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 33/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

9.2 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.

Fração	Barragem 1	Total reservatório
	Cenário Crítico	
Água livre	31.590.563,37	31.590.563,37
Rejeitos	544.223.821,52	895.884.259,39
Total mobilizado	575.814.384,89	927.474.822,76
Percentual mobilizado	62,1%	-

9.3 DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA 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.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 34/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

Tabela 9.2 – Parâmetros modelo de erodibilidade.

Parâmetros de brecha	Coeficientes	Ponto crítico
Taxa de erodibilidade vertical do solo (m/s)	$\frac{dZ_b}{dt} = k_d(\tau_b - \tau_c)$	Figura 9.2
Coeficiente 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)	d_{50}	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

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

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 35/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

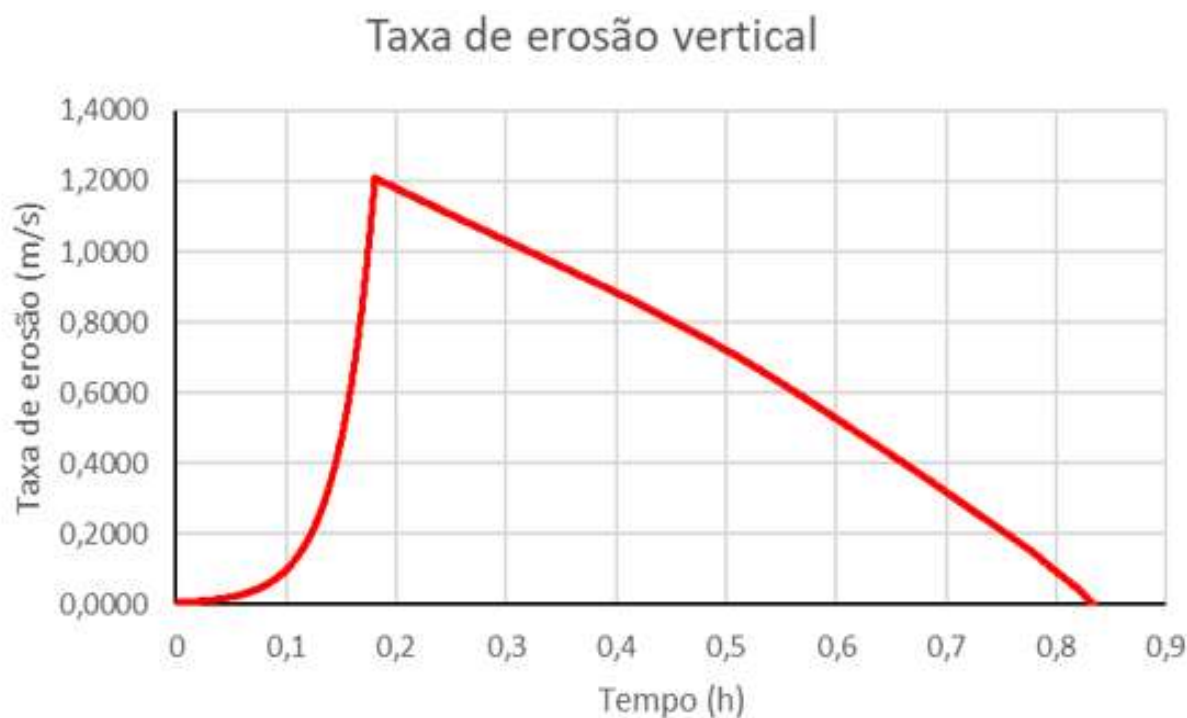


Figura 9.2 – Taxa de erosão.

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 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 36/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03



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

10.0 PROPAGAÇÃO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 37/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

O modelo restringiu-se aos limites da ADA do empreendimento, sendo monitoradas as vazões de saída, a fim de avaliar o cenário selecionado como o mais danoso.

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.

10.1 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 10.1), e estão apresentados na Tabela 10.1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 38/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03



Figura 10.1 – Uso e ocupação do solo para atribuição do coeficiente de Manning.

Tabela 10.1 – 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 39/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

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 de escoamento e viscosidade.

Na ausência de dados ensaiados para o rejeito específico os valores adotados foram aproximados através das equações propostas por Ribeiro (2015), $\tau_y = 514,2 \cdot C_v^{2,2425}$ e $\eta = 1,9421 \cdot C_v^{1,7811}$. A Tabela 10.2 resume os resultados obtidos para esses parâmetros.

Tabela 10.2 – Parâmetros de resistência utilizados.

Modelo de ruptura	Cv	Tensão de escoamento (Pa)	Viscosidade dinâmica (Pa.s)
Cenário crítico	0,47	95,87	0,649

10.2 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

O mapeamento da inundação foi realizado a partir das informações e resultados gerados para a malha de simulação. Para o atual estudo, com o intuito avaliar o efeito provocado pela ruptura da Barragem 1 no cenário de maior dano, foram adicionadas saídas nos talwegues no limite da malha computacional. Dessa forma, é possível verificar o volume propagado nas diferentes direções.

10.3 RESULTADOS

Na Figura 10.2 é apresentada a mancha de inundação obtida da ruptura hipotética da Barragem de Rejeitos 1 pelo ponto crítico considerando a Estrutura Ambiental de Contenção projetada nos estudos elaborados em 2018, ou seja, com a crista na El. 750,00 m. No mapa está descrito também o volume total escoado da Barragem 1, o volume retido na malha da área do Projeto Bloco 8 e os volumes propagados nas diferentes seções monitoradas. O resumo é apresentado na Tabela 10.3.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36		Folha 40/44
	WA05520000-1-RH-RTE-0001		Revisão 03

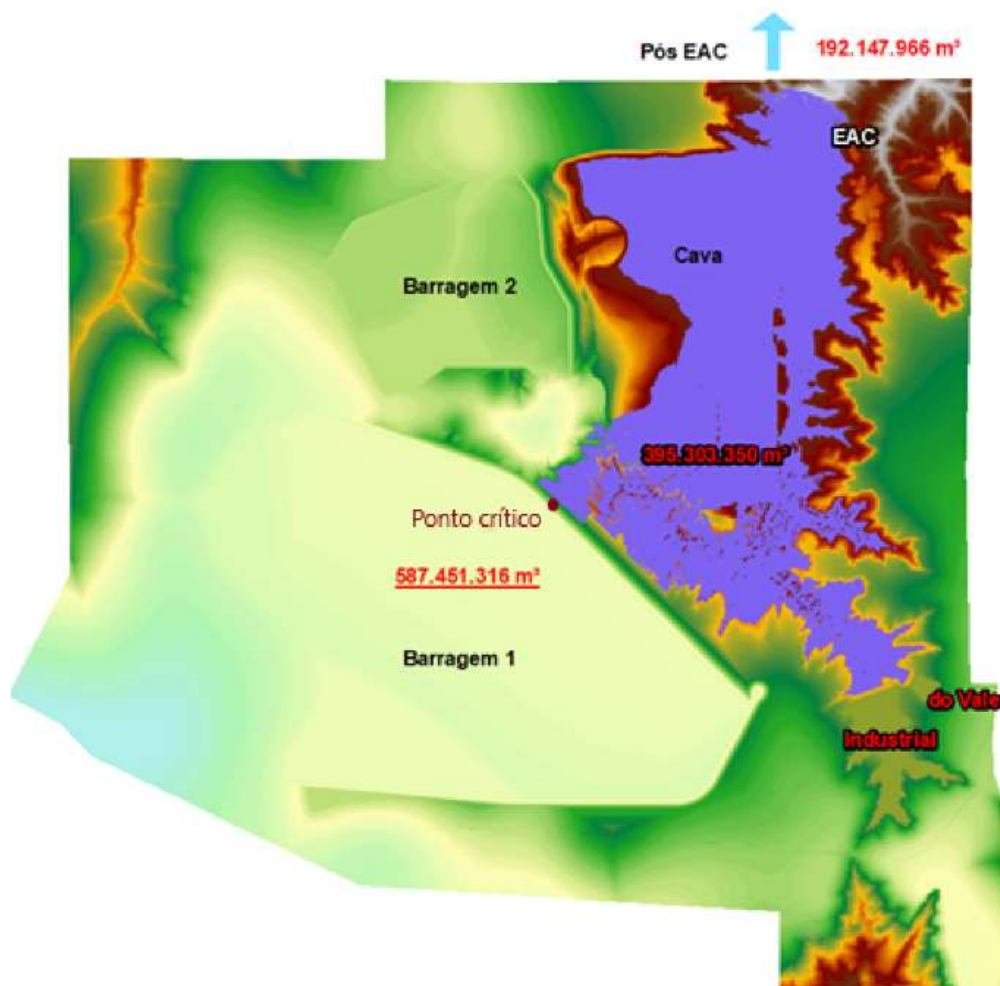


Figura 10.2 – Planta esquemática – Ruptura Barragem 1 – EAC na EL. 750,00 m.

Tabela 10.3 – Resumo resultados mapeados – EAC na EL. 750,00 m.

Modelo de ruptura	Volume total propagado (m³)	Volume retido (m³)	Volume propagado PÓS EAC
Cenário Crítico	587.451.316	395.303.350	192.147.966

Os resultados obtidos indicaram que a Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) projetada no estudo elaborado pela WALM em 2018 com crista na EL.750,00m não foi capaz de conter a onda gerada pela ruptura hipotética da Barragem 1, considerando a atualização dos estudos em 2021, sendo propagado um volume remanescente de 192.147.966 m³ para jusante da EAC.

Assim, foi realizada nova simulação considerando a implantação do maciço da EAC em altura infinita, sendo monitoradas as vazões de saída.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 41/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

Os resultados obtidos para essa nova simulação (Figura 10.3) mostraram que a onda de ruptura atingiu a elevação máxima no reservatório da EAC na EL. 775,36 m. Desta maneira, a cota da soleira do sistema extravasor capaz de conter toda a onda de rejeitos provenientes de uma eventual ruptura da Barragem de Rejeitos 1, no ponto considerado como o mais crítico, foi predefinida na EL. 776,00m.

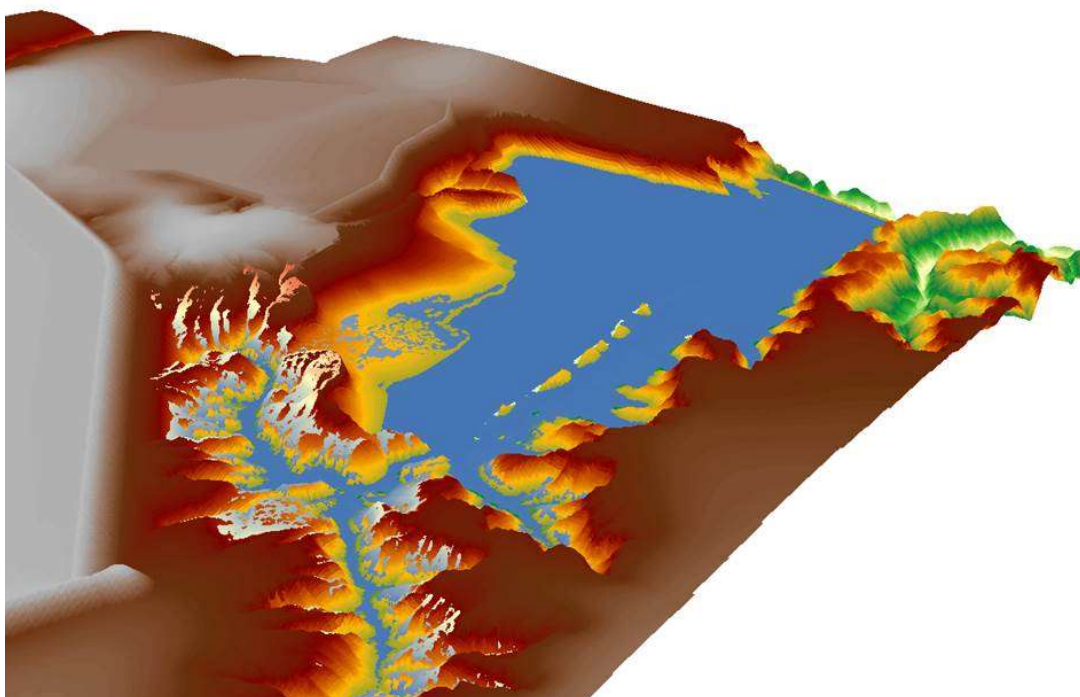


Figura 10.3 – Planta esquemática – Ruptura Barragem 1 – EAC com soleira na EL. 776,00 m.

Tabela 10.4 – Resumo resultados mapeados – EAC com soleira na EL. 776,00 m.

Modelo de ruptura	Volume total propagado (m³)	Volume retido (m³)	Volume propagado para NO	Volume propagado PÓS EAC	Volume propagado SE
Cenário Crítico	587.451.316	587.451.316	0	0	0

Cabe ressaltar que, no cenário de maior dano simulado, 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, apresentados no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-37, foi considerada a ruptura simultânea das estruturas supracitadas e validada a cota da soleira do sistema extravasor pré-definida nos estudos desenvolvidos no presente documento na EL. 776,00 m.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 42/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

11.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos apresentados neste documento visaram a identificação do cenário crítico de ruptura hipotética, 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. Ainda, foi definido o mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso, dentre os mais prováveis.

Com base nas avaliações supracitadas, definiu-se que a ruptura hipotética da Barragem 1 ocorrendo no ano 18 de operação, com o ponto de ruptura localizado na seção do barramento de maior altura e tendo por gatilho o modo de falha por galgamento, como sendo o cenário crítico, ou seja, que ocasiona maiores danos a jusante.

Todavia, recomenda-se nas fases futuras do projeto, quando do desenvolvimento da engenharia básica, que sejam verificados os efeitos causados pela ruptura hipotética da Barragem 1 em outros pontos ao longo da extensão do barramento, visando verificar se o volume propagado por esses possui direções divergentes do cenário considerado como de maior dano. Caso as simulações indiquem a existência de fluxos em outras direções, deverão ser avaliadas medidas mitigadoras e/ou adequações do projeto conceitual, visando minimizar os impactos que poderão ser ocasionados.

Adicionalmente, os estudos contemplaram a predefinição da cota da soleira do sistema extravasor de emergência da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) capaz de conter toda a onda dos rejeitos provenientes de uma eventual ruptura da Barragem 1, considerando o cenário definido como o de maior dano. Os resultados obtidos indicaram que todo o volume mobilizado ficou retido no reservatório da EAC, considerando a soleira na EL. 776,00 m. Salienta-se que a definição da cota da crista da EAC foi subsidiada pelos estudos hidrológicos para a passagem das cheias no extravasor da estrutura, considerando o preconizado pela NBR 13.028 (ABNT, 2017), constantes no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-38.

Cabe ressaltar ainda que, no cenário de maior dano simulado, 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, apresentados no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-37, foi

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 43/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	

considerada a ruptura simultânea das estruturas supracitadas e validada a cota da soleira do sistema extravasor pré-definida nos estudos desenvolvidos no presente documento na EL. 776,00 m.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA - ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO DE MAIOR DANO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-36	Folha 44/44	
	WA05520000-1-RH-RTE-0001	Revisão 03	