

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 1/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

RELATÓRIO TÉCNICO

BARRAGEM INDUSTRIAL

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A

(PROJETO BLOCO 8)

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 3/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Sumário

1.0	INTRODUÇÃO	4
2.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	4
3.0	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	7
4.0	CRITÉRIOS E PREMISSAS	8
5.0	INTERFERÊNCIAS	11
6.0	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	12
6.1	CHUVAS DE PROJETO	13
6.2	VAZÕES DE PROJETO	17
6.2.1	Sistema Extravasador da Barragem Industrial	18
6.2.2	Sistema de Drenagem Superficial da Barragem Industrial	23
7.0	ESTUDOS HIDRÁULICOS	25
7.1	SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	25
7.1.1	Sistema de Drenagem Superficial da Barragem Industrial	26
7.2	SISTEMA EXTRAVASADOR DA BARRAGEM INDUSTRIAL	28
7.2.1	Canal de aproximação/canal lateral	29
7.2.2	Canal do Vertedouro	29
7.2.3	Canal do Rápido	31
7.2.4	Bacia de Dissipação	32
8.0	ESTUDOS GEOTÉCNICOS	33
8.1	TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO	33
8.2	ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO	34
8.3	DRENAGEM INTERNA	35
8.4	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	37
8.4.1	ANÁLISE SISMICA	39
8.4.1.1	SISMO NATURAL	39
8.4.1.1.1	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE SÍSMICO	39
8.4.1.2	SISMO DESENCADEADO POR DETONAÇÕES	47
9.0	CLASSIFICAÇÃO CONFORME PORTARIA DNPM Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017	49
10.0	PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO	52
11.0	PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO E ENSAIOS	54
12.0	QUANTITATIVOS	54
13.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
14.0	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

 <p>SAM Sul Americana de Metais S.A.</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 4/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

1.0 INTRODUÇÃO

Este relatório tem por objetivo apresentar o Projeto Conceitual elaborado para a Barragem de Água para Uso Industrial do Projeto Bloco 8 da empresa Sul Americana de Metais S.A. (SAM), localizado no norte do estado de Minas Gerais, nos municípios de Grão Mogol e Padre Carvalho. Sua finalidade será formar reservatório de água estratégico suprir as necessidades hídricas do sistema.

O Projeto Bloco 8 encontra-se em fase de revisão pela WALM, onde serão realizados os Serviços Multidisciplinares de Engenharia para Elaboração de Estudos Conceituais, nos quais estão contemplados os estudos de alternativas de disposição do rejeito e do estéril a ser gerado na Mina com disposição em pilhas, barragens, considerado inclusive, a disposição em cava, denominada “Backfill”. O projeto contemplará os 18 anos de operação da mina, sendo considerado o plano de lavra e o sequenciamento de exploração das cavas apresentados pela SAM.

2.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para a elaboração deste trabalho foram fornecidos pela SAM os seguintes documentos:

- 1VNNS004-1-EA-EIA-0015_23 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA Módulo 3 – Descrição do Empreendimento – Mineroduto. Elaborado pela BRANDT Meio Ambiente em Junho de 2012;
- 1VNNS004-1-EA-EIA-0006_9 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA – Módulo 6 – Diagnóstico do Meio Físico – Complexo Minerário e Adutora. Elaborado pela BRANDT Meio Ambiente em Junho de 2012;
- MINA_VRP005-1010-D-SE-01 – Sumário Executivo – Projeto Conceitual de Lavra. Elaborado pela Venturini Consultoria em Outubro de 2017;
- BSU-C-BV-RE-009-4 - Estudos Complementares e Esclarecimentos Solicitados sobre o Projeto Conceitual – Sumário Executivo. Elaborado pela DAM Engenharia em Dezembro de 2015;
- BSU-C-BV-RE-004-1 – Projeto Conceitual – Barragem Vacaria – Relatório Técnico. Elaborado pela DAM Engenharia em Maio de 2013;

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 5/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

- BSU-C-BV-RE-005-2 – Projeto Conceitual – Barragem Vacaria – Sumário Executivo. Elaborado pela DAM Engenharia em Maio 2013;
- Planilha com a medida do Nível Freático e Piezométrico de Novembro de 2010 a Abril de 2016;
- MINA_BLC8007-M-0004_R00 – Estudo Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Plano Diretor. Elaborado pela SAM em Janeiro de 2018;
- MINA_BLC8007-P-0004_R02 – Projeto Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Britagem Primária e Secundária, Peneiramento, Pilha Pulmão. Elaborado pela SAM em Maio de 2015;
- MINA_BLC8007-P-0005_R02 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Pré-Moagem, Moagem Primária, Classificação. Elaborado pela SAM em Maio de 2015;
- MINA_BLC8007-P-0006_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Pré-Concentração Magnética de Grossos/Finos e Deslamagem de Finos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- MINA_BLC8007-P-0007_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Pré-Concentração Magnética Scavenger. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- MINA_BLC8007-P-0008_R01 - Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Remoagem de Finos/Desaguamento de Finos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- MINA_BLC8007-P-0009_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Remoagem de Grossos/Deslamagem de Grossos Remoídos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- MINA_BLC8007-P-0010_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Flotação de Grossos Remoídos. Elaborado pela SAM em Maio de 2014;
- MINA_BLC8007-P-0011_R01 - Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Flotação de Finos Remoídos. Elaborado pela SAM em Maio de 2014;

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 6/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

- MINA_BLC8007-P-0012 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo com Balanço de Massas (5 Anos) – Espessador de Concentrado / Rejeito – Sistema de Água para Flotação. Elaborado pela SAM em Julho de 2015;
- MINA_BLC8007-P-0013 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo com Balanço de Massas (5 Anos) – Espessador de Lamas / Água para Delamagem / Água para Processo. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- MINA_BLC8007-P-0014_R02 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Sist. de Água p/ Utilidades – Sist. de Captação e Adução de Água Nova – Captação de Água Recuperada. Elaborado pela SAM em Julho de 2015;
- MINA_BLC8007-P-0015_R01 – Projeto Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Balanço de Água. Elaborado pela SAM em Abril de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-01-01 – Projeto Conceitual – Relatório de Visita Técnica de Campo. Elaborado pela WALM em Outubro de 2013;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-02-05 – Projeto Conceitual – Geotecnia de Cava – Relatório Final. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-03-08 – Projeto Conceitual – Estudo de Alternativas de Disposição de Rejeitos e Estéril – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-04-05 – Projeto Conceitual – Plano de Manejo Integrado dos Recursos Hídricos – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-05-04 – Projeto Conceitual – Sistema de Desvios – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-06-06 – Projeto Conceitual – Barragem de Água Industrial – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-07-04 – Projeto Conceitual – Modelo Hidrogeológico-Conceitual – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-08-05 – Projeto Conceitual – Modelo Hidrogeológico Numérico – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Março de 2014;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 7/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

- MINA_VRP002-1010-O-RE-09-02 – Projeto Conceitual – Investigações Geológico-Geotécnicas – Especificação Técnica. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-10-01 – Projeto Conceitual – Monitoramento e Instrumentação – Especificação Técnica. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-11-02 – Engenharia Conceitual – Sumário Executivo. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-12-02 – Projeto Conceitual – Plano Conceitual de Fechamento – Especificação Técnica. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-13-01 – Estudos Hidrológicos para Dimensionamento de Reservatório para Abastecimento de Água para a Comunidade do Vale das Cancelas – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-10-01 – Projeto Conceitual – Estudo de Alternativas de Disposição de Rejeitos e Estéril – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Dezembro de 2013;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-11-02 – Modelo Hidrogeológico Numérico – Relatório Síntese para Atendimento ao IBAMA. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP005-1010-D-0001 a MINA_VRP005-1010-D-0024 – Projeto Conceitual – Layout Cavas do Ano 1 as ANO 32 – Venturini Consultoria Outubro 2017.

3.0 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O 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 Projeto do Bloco 8 é realizado pela estrada vicinal não pavimentada. A Figura 3.1 apresenta a localização do projeto.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 8/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	



Figura 3.1 - Localização da área do Projeto Bloco 8.

4.0 CRITÉRIOS E PREMISSAS

Para a elaboração do estudo do projeto conceitual, foram adotadas as seguintes premissas de projeto:

- A Barragem será homogênea em solo compactado, sendo construída em uma única etapa;
- As áreas de empréstimo deverão localizar nas regiões próximas ao barramento e/ou na área alagada do reservatório;
- Nesta etapa do projeto, a SAM informou que as áreas potenciais de empréstimo no interior do reservatório não serão caracterizadas, sendo foco da etapa futura do Projeto;

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 9/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

- Para esta etapa, a WALM apresentará plano de investigações geotécnicas para subsidiar a SAM no desenvolvimento das demais etapas do projeto;
- A geometria do maciço da barragem será:
 - Crista com 10,00 m de largura;
 - Taludes de jusante com inclinação de 2,00H : 1,00 V (26,56°);
 - Talude de montante com inclinação de 2,00H : 1,00 V;
 - Bermas com 6,00 m de largura;
 - Desnível máximo entre bermas de 10,00 metros;
- Para o barramento foi realizado o dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna considerando os níveis freáticos operacionais previstos para a estrutura, com o nível d'água na EL. 858,00 m;
- A Barragem Industrial deverá garantir a manutenção da vazão mínima residual de 75,6 m³/h, valor correspondente a 50% da Q_{7,10}, conforme regulamentado do IGAM. O cálculo da Q_{7,10} está apresentado no documento MINA_VRP002-1010-O-RE-04-05, emitido em fevereiro de 2014 pela WALM;
- A base topográfica do projeto é apresentada no documento "VRP-2010-O-0001_R0 - Topografia Bloco 8" que apresenta o levantamento topográfico do Alvo 8 com precisão de curvas de nível de metro em metro no sistema de referência SAD 69 e Fuso 23S;
- A curva cota x área x volume do reservatório da barragem foi obtida através da base topográfica supracitada, para balizar os dimensionamentos hidrológicos;
- Os estudos de estabilidade foram balizados pela NBR 13.028 (ABNT, 2017) denominada "Mineração - Elaboração e Apresentação de Projeto de Disposição de Rejeitos, Contenção de Sedimentos e Reservação de Água";
- Para as análises de estabilidade para a Barragem de Água Industrial, deverão ser obedecidos os fatores de segurança preconizados pela norma NBR 13.028 (ABNT, 2017), conforme apresentado na Tabela 4.1, com exceção do fator de segurança mínimo entre bermas que deverá ser igual a 1,50;
- Para as análises sísmicas serão realizadas análises pseudo-estáticas para as condições de sismo natural e desencadeado pelas detonações na cava do Projeto Bloco 8, sendo considerado:
 - **Sismo Natural:** Aceleração de pico obtida a partir dos estudos presentes no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-34_R00;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 10/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

- **Sismo Desencadeado por Detonações:** velocidade de pico obtida a partir dos estudos realizados pela SAM/VMA de acordo com o documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-50_R00;

Tabela 4.1 – Fatores de Segurança Mínimos para barragens de mineração.

Fase	Tipo de Ruptura	Talude	Fator de Segurança Mínimo
Final de Construção	Maciço e Fundações	Montante e Jusante	1,30
Operação com rede de fluxo em condição normal de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e Fundações	Jusante	1,50
Operação com rede de fluxo em condição extrema, nível máximo do reservatório	Maciço e Fundações	Jusante	1,30
Operação com rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório	Maciço	Montante	1,10
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,50
		Entre bermas	1,50
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Montante e jusante	1,10

- Para o sistema extravasor deverão ser considerados os períodos retorno estabelecidos na norma supracitada, resumidas na Tabela 4.2;

Tabela 4.2 – Período de Retorno a ser considerado para o dimensionamento dos sistemas extravasor.

Consequências ou Dano Potencial	Período de Retorno de Projeto (período operacional)	Período de Retorno de Projeto (período de fechamento)
Baixo	200 a 500 anos	10.000 anos ou PMP
Médio	500 a 1.000 anos	10.000 anos ou PMP
Alto	1.000 anos a PMP	10.000 anos ou PMP

- O dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna da Barragem de Água Industrial (filtro vertical, tapetes de ombreira e central) foram realizadas considerando a metodologia de Darcy para Fluxos laminares;
- As análises de estabilidade para a validação das geometrias propostas para a Barragem Industrial foram obtidas a partir do software Slide, versão 7.0, desenvolvido pela Rocscience,

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 11/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

adotando-se o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, e a teoria do equilíbrio limite pelo Método GLE/ Morgenstern Price.

5.0 INTERFERÊNCIAS

- Limite da área diretamente afetada (ADA) pelo empreendimento conforme apresentado no documento “BLC8-2010-M-0004_R00” que apresenta o Plano Diretor desenvolvido pela VENTURINI Consultoria;
- Cavidades existentes na região do projeto conforme apresentado no documento “BLC-2010-M-0004_R00”;
- Estudos geométricos dos Platôs e Acessos da Área Industrial do Projeto Bloco 8 representados no documento “BLC8-2010-I-0001_R02 - Platôs e Acessos”;
- Sequenciamento das Cavas - Ano 0 a Ano 18, conforme documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”, desenvolvido pela VENTURINI Consultoria em 2018;
- Posição das britagens em relação ao sequenciamento da Lavra de 18 anos, conforme documento “Estudo de relocação da Britagem” desenvolvido pela VENTURINI Consultoria; e
- Rampa de acesso entre a Mina e a Unidade de Beneficiamento do Projeto Bloco 8, conforme documento “Acesso Mina”, disponibilizado pela SAM.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-30

Folha
12/65

WBH28-17-SAM-RTE-0030

Revisão
02

Figura 5.1 – Mapa de Interferências – Projeto Bloco 8.

6.0 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos foram elaborados com a finalidade de fornecer subsídios para o dimensionamento das estruturas hidráulicas previstas na Barragem Industrial do Projeto Bloco 8, sendo compostas por:

- Sistema de Drenagem Superficial;
- Sistema Extravasor.

Face à inexistência de monitoramento fluviométrico das bacias de interesse, o cálculo das vazões de projeto foi realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão. Em virtude da magnitude da área de contribuição, as vazões de projeto foram determinadas segundo

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 13/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

o Método do Hidrograma Unitário (área de contribuição superior a 1,0 km²) e o Método Racional (área de contribuição inferior a 1,0 km²).

Basicamente, a metodologia adotada nos estudos hidrológicos pode ser resumida na seguinte seqüência:

- Estudo das chuvas intensas na área de projeto;
- Definição das características físicas e parâmetros das bacias de contribuição, tais como, áreas de drenagem, características do terreno e tempos de concentração;
- Cálculo das vazões de projeto utilizadas no dimensionamento das estruturas hidráulicas previstas na implantação da Barragem Industrial.

Após a determinação das vazões de projeto das estruturas hidráulicas, foram realizados os dimensionamentos hidráulicos dos dispositivos de drenagem superficial previstos e do sistema extravasor.

6.1 CHUVAS DE PROJETO

O cálculo das chuvas de projeto foi realizado utilizando-se os dados consistidos de altura de chuva diária das estações regionais.

Para a definição das chuvas de projeto realizou-se a análise das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) existentes nas proximidades do empreendimento, considerando-se um raio de até 50 quilômetros do mesmo. As estações existentes dentro do referido limite são apresentadas na Tabela 6.1.1 e Figura 6.1.1.

Tabela 6.1.1: Seleção das Estações Pluviométricas Utilizadas no Estudo

Código	Nome	Município	Período	Latitude	Longitude	Distância do Projeto (km)
1642003	CANCELA	GRÃO MOGOL	1964 - 2000	-16°19'0"	-42°42'0"	7,00
1642014	GRÃO MOGOL	GRÃO MOGOL	1973 - 2018	-16°35'26"	-42°55'7"	41,0
1642026	PONTE VACARIA	PADRE CARVALHO	1993 - 2018	-16°11'35"	-42°35'46"	16,0
1543027	PENSÃO CAVEIRAS	GRÃO MOGOL	2000 - 2018	-16°18'39"	-43°6'20"	42,0

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 14/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02



Figura 6.1.1 – Localização das Estações Pluviométricas

Devido à extensão da série histórica disponível, com abrangência de dados recentes de altura pluviométrica, apresentando poucas falhas e mostrando consistência global, bem como a proximidade da região em estudo, para a determinação das chuvas de projeto na área do empreendimento, foi escolhida a estação pluviométrica Grão Mogol (ANA – código 1642014).

As médias mensais da estação Grão Mogol (1642014) são apresentadas na Figura 6.1.2. A partir dos dados observados, conclui-se que a estação chuvosa na área do projeto estende-se de outubro a março, sendo os meses de junho, julho e agosto de menor pluviosidade.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-30

Folha
15/65

WBH28-17-SAM-RTE-0030

Revisão
02

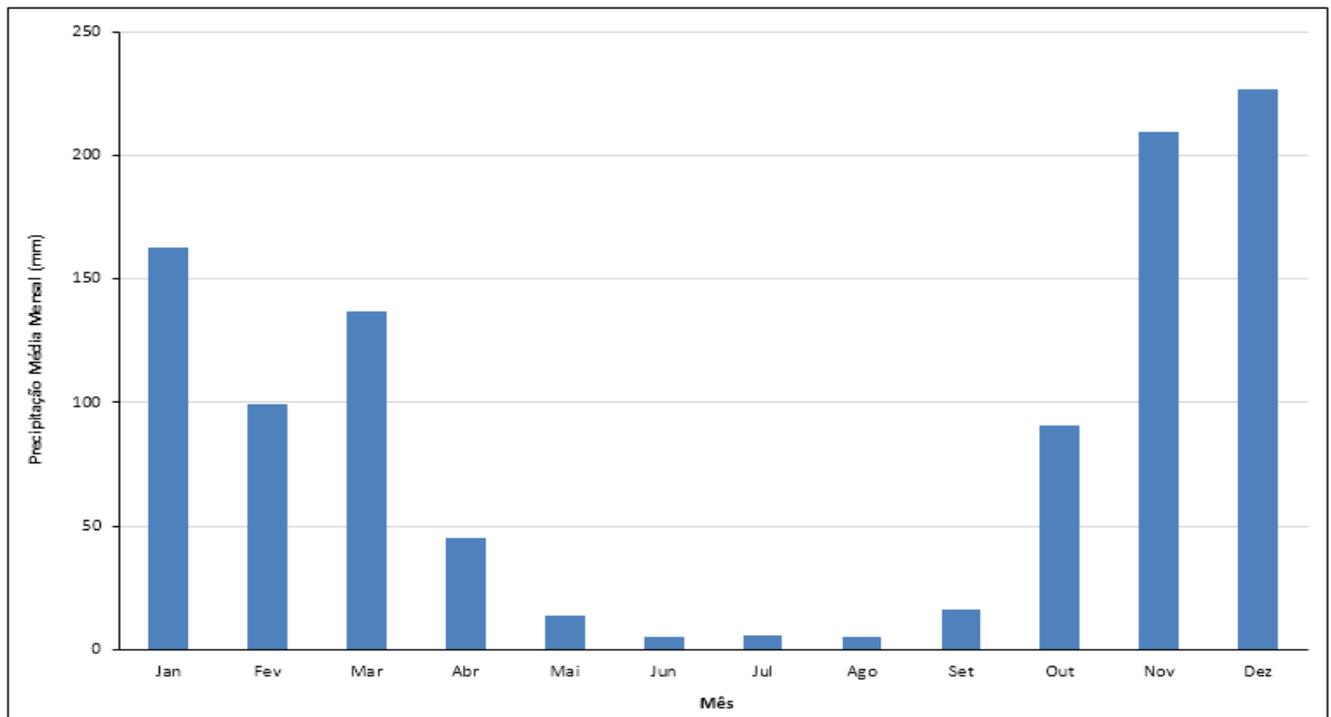


Figura 6.1.2: Altura de chuva total média mensal da Estação Grão Mogol (1642014)

Inicialmente, para o período de dados disponível, foram selecionados os valores máximos anuais de altura de chuva diária ocorridos na estação Grão Mogol (1642014), no período compreendido entre 1973 e 2017 para cada ano hidrológico, que se estende do mês de outubro ao mês de setembro, subsequente. Vale mencionar que os anos hidrológicos 1974/1975 e 2009/2010 foram descartados do estudo por apresentarem falhas nos meses chuvosos, resultando em uma série de dados de 42 anos.

Os dados de precipitação máxima diária anual da estação Grão Mogol (1642014) foram ordenados e plotados, empregando-se a posição de plotagem de Weibull, determinando-se as probabilidades amostrais. Em seguida, buscou-se o melhor ajuste de um modelo matemático de distribuição probabilística à sequência ordenada de eventos observados, de forma a obterem-se as alturas de chuva para tempos de retorno específicos, com especial interesse àquelas cujas probabilidades de ocorrência sejam muito baixas (eventos extremos).

Aos pontos amostrais (distribuição de probabilidades empírica), foram ajustadas as seguintes distribuições de probabilidades teóricas: Log-Normal de 2 parâmetros, Generalizada de Valores

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 16/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Extremos Tipo I (Gumbel), Distribuição Exponencial, Pearson III, Log-Pearson Tipo III e Generalizada de Valores Extremos (GEV).

As distribuições de probabilidades teóricas foram extrapoladas, permitindo a estimativa dos quantis de precipitação para períodos de retorno de até 10.000 anos. A partir da análise visual do gráfico das distribuições de probabilidades, foi escolhida a distribuição de Pearson III por apresentar a melhor aderência aos dados apresentados, conforme pode ser observado na Figura 6.1.3.

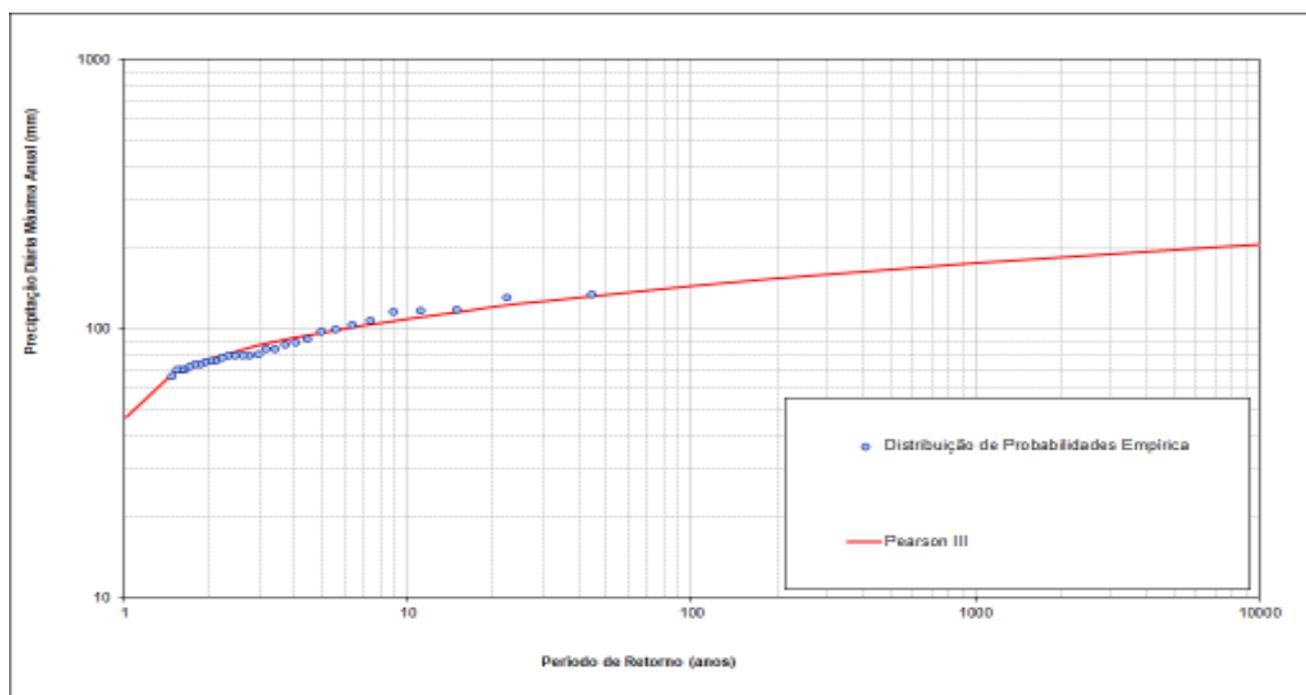


Figura 6.1.3: Ajuste da Distribuição Teórica de Pearson III para Alturas de Chuvas de 1 dia.

Ressalta-se que os dados de chuvas diárias das estações pluviométricas adotadas neste estudo foram obtidos de leituras diárias de pluviômetros em certa hora do dia, geralmente às 7 horas da manhã. Essa leitura corresponde ao valor precipitado compreendido entre duas observações consecutivas. Já a precipitação de 24 horas é o maior valor de chuva correspondente a um período consecutivo de 24 horas (não necessariamente coincidente com o período de observação). Dessa forma, os valores de chuvas diárias foram corrigidos por um fator de 1,10 para a obtenção da chuva de 24 horas, valor este sugerido pelo U. S. Weather Bureau (CETESB, 1986).

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30		Folha 17/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030		Revisão 02

Para a desagregação da chuva de 24 horas em alturas de chuvas de menor duração foi utilizada a seguinte metodologia utilizou-se o método das Isozonas de Tborga (1974). A base do método das isozonas decorreu da constatação de que havia uma certa uniformidade regional entre as alturas de chuva de 6 minutos com 24 horas (P6min/P24) e de 1 hora com 24 horas (P1/P24), configurando as chamadas isozonas de igual relação entre as precipitações de diferentes durações.

Os quantis de altura de chuva para os diversos períodos de retorno estão apresentados na Tabela 6.1.2.

Tabela 6.1.2: Quantis de Altura de Chuva da Estação Grão Mogol (1642014)

Duração	Período de Retorno (anos) - Precipitação (mm)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1.000	10.000
5 min	6,2	7,8	9	10,1	11,0	10,3	10,9	11,9	12,5	14,3
10 min	14,0	17,5	19,6	22,0	23,8	23,7	25,6	27,5	28,9	31,8
25 min	24,3	30,2	33,7	37,8	40,6	41,5	45,1	48,2	50,6	55,0
30 min	26,4	32,8	36,5	41,0	44,0	45,0	48,9	52,3	54,9	59,7
1 h	34,2	42,4	47,3	52,9	56,8	58,5	63,7	67,9	71,3	77,2
2 h	45,1	56,2	62,9	70,8	76,3	80,0	86,4	92,7	97,5	107
3 h	51,5	64,3	72,1	81,3	87,7	92,6	100	107	113	125
4 h	56,1	70,0	78,6	88,7	95,8	102	109	117	124	137
6 h	62,5	78,1	87,7	99,2	107	114	122	132	139	155
8 h	67,0	83,8	94,2	107	115	123	132	142	150	167
10 h	70,5	88,3	99,3	112	122	130	139	150	158	177
12 h	73,4	91,9	103	117	127	136	145	157	165	185
14 h	79,8	100	113	128	138	148	158	171	181	202
24 h	84,4	106	119	135	146	157	168	181	192	214
2 dias	101	127	144	165	180	195	209	228	242	287
3 dias	123	156	176	199	216	231	246	264	278	322
5 dias	156	199	223	251	270	287	304	324	339	387
7 dias	184	237	268	304	329	352	375	404	425	491
10 dias	218	276	309	347	372	396	418	446	467	530
15 dias	270	337	373	413	439	463	485	512	531	589
20 dias	312	391	433	480	511	539	565	598	621	691
30 dias	382	486	544	608	651	690	727	773	806	907

6.2 VAZÕES DE PROJETO

O estudo para o cálculo das vazões de projeto foi realizado com o intuito de fornecer subsídios para o dimensionamento das estruturas hidráulicas previstas na área de implantação da Barragem Industrial.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 18/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Conforme já mencionado, em função da inexistência de monitoramento fluviométrico nas bacias de interesse, o cálculo das vazões de projeto foi realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão.

Para a determinação das vazões de projeto utilizadas no dimensionamento das estruturas constituintes do sistema de drenagem superficial, utilizou-se o Método Racional, em virtude das áreas de contribuições serem inferiores a 1,0 km² (PINHEIRO, 2011).

Já para a vazão de projeto utilizada no dimensionamento do sistema extravasor, adotou-se o Método do Hidrograma Unitário, em virtude da magnitude da área de contribuição e visando a determinação dos efeitos de amortecimento do reservatório dessa estrutura.

6.2.1 Sistema Extravasor da Barragem Industrial

De acordo com a NBR-13028/2017 (“Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água”), o dimensionamento do sistema extravasor de barragens deve ser definido em função do dano potencial associado à falha estrutural da barragem.

Para a barragem em estudo, admitiu-se que a mesma terá um dano potencial associado ALTO, sendo o sistema extravasor dimensionado para uma vazão de TR =10.000 anos, considerando uma borda livre mínima de 1,0m.

A partir dos valores de precipitação apresentados na Tabela 6.1.2 e utilizando-se métodos indiretos de transformação chuva-vazão, foram determinadas as vazões de projeto para o dimensionamento hidráulico do sistema extravasor da Barragem Industrial.

O modelo matemático utilizado foi o HEC-HMS – Hydrologic Modeling System, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center, órgão colegiado do U.S. Army Corps of Engineers, versão 3.5.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 19/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Para determinação da chuva efetiva, parcela da precipitação que transformará em escoamento superficial, foi utilizada a metodologia proposta pelo Soil Conservation Service (SCS), tendo como parâmetro o Número de Curva (CN).

O parâmetro CN representa o tipo de cobertura, solo e ocupação na bacia. Os valores atribuídos a cada tipo de solo, considerando as condições normais de chuva antecedente (CN II) estão apresentados na Tabela 6.2.1.1.

Tabela 6.2.1.1 – Valores adotados para o CN

Tipo de Solo	Cobertura do Solo	CN II adotado
Grupo B	Campo, Pastagem	60
	Rejeito	85
	Reservatório	100

Na síntese dos hidrogramas de vazões foi utilizado o método SCS, tendo como parâmetro o lagtime (Tlag) dado pela multiplicação do tempo de concentração pelo fator de 0,6.

O tempo de concentração foi calculado usando o Método de Kirpich, O tempo de concentração foi calculado usando o Método de Kirpich, obtido pela seguinte expressão:

$$T_c = 3,989 \times \frac{L^{0,77}}{Se^{0,385}}$$

Onde,

Tc = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue, em km;

Se = declividade equivalente, em m/m.

Os parâmetros utilizados no modelo para o cálculo das vazões de projeto do sistema extravasor da Barragem Industrial bem como o diagrama unifilar adotado no estão apresentados na Tabela 6.2.1.2 e Figura 6.2.1.1. Vale mencionar que o reservatório da Barragem Industrial receberá as vazões vertidas pelo reservatório da Barragem de Rejeitos 1.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 20/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02

Tabela 6.2.1.2 – Parâmetros Utilizados – Sistema Extravasor da Barragem Industrial

Estrutura	Área de Drenagem (km ²)	Número de Curva Ponderado (CN III)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (min)	Lag Time (min)
AD_Barragem Industrial/Reservatório	4,09	64,9	27,48	16,4	9,84
AD_Barragem 1/Reservatório	29,90	76,8	15,31	127,75	76,65
Bueiro 2	3,60	60	33,87	41,13	24,68
Bueiro 1	4,90	60	33,87	42,16	25,30

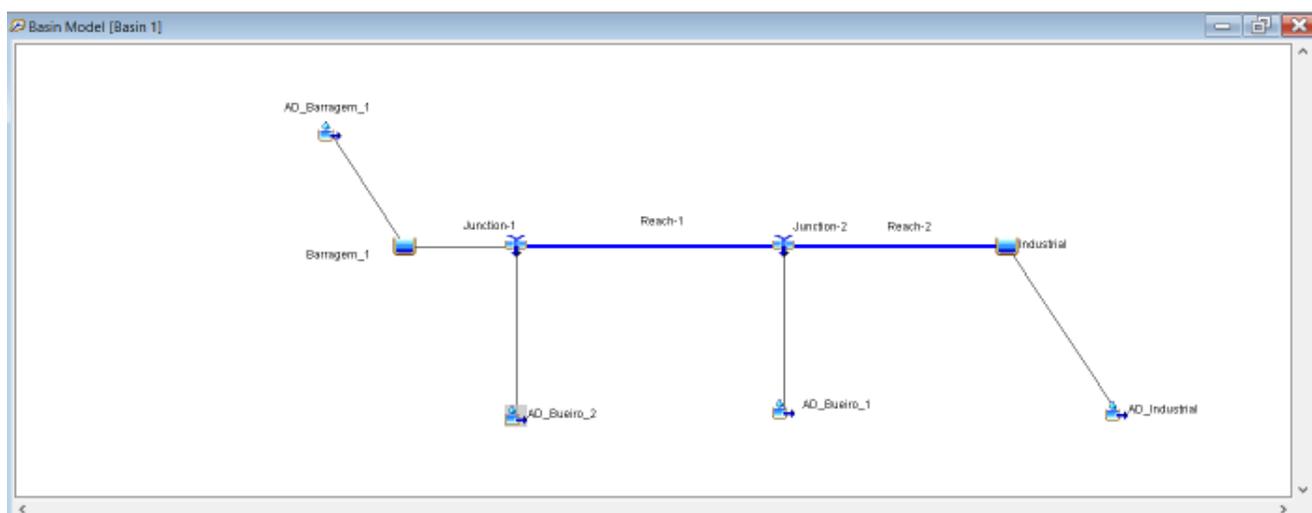


Figura 6.2.1.1: Representação do Diagrama Unifiar Considerado para a modelagem Hidrológica da Barragem Industrial

As simulações foram realizadas para os eventos de chuva com as durações variando entre 1 hora até 30 dias. Adicionalmente, para a obtenção das vazões de projeto (vazão máxima defluente) do sistema extravasor da Barragem Industrial, foi considerado o potencial de amortecimento do reservatório, a partir da avaliação do trânsito de cheia.

A simulação do trânsito da cheia de projeto pelo reservatório da Barragem Industrial foi realizada com o emprego do Método de Puls Modificado, incorporado ao modelo matemático HEC-HMS versão 3.5. Esse método é baseado na discretização em diferenças finitas da equação do balanço hídrico, utilizando como elementos de cálculo as relações cota x descarga do vertedouro e cota x volume do reservatório, além do hidrograma de vazões afluentes de projeto, obtido nos estudos hidrológicos.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 21/65
		WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02

Para realização das simulações adota-se, como nível de água inicial dos reservatórios, a cota correspondente à soleira vertente na El.858,00 m.

A determinação da curva de descarga do sistema extravasor foi efetuada através da equação de emboque de canal:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot B \cdot H \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H}$$

Onde:

Q é a vazão de projeto, em m³/s;

C é o coeficiente de descarga, adimensional, adotado igual a 0,9;

L é a largura útil do vertedouro, adotada inicialmente com 40,0 m;

g é a aceleração da gravidade, igual a 9,81 m/s²;

H é a carga hidráulica sobre a soleira do vertedouro, em m.

A curva de descarga obtida para a etapa inicial e final estão apresentadas na **Figura 6.2.1.2**.

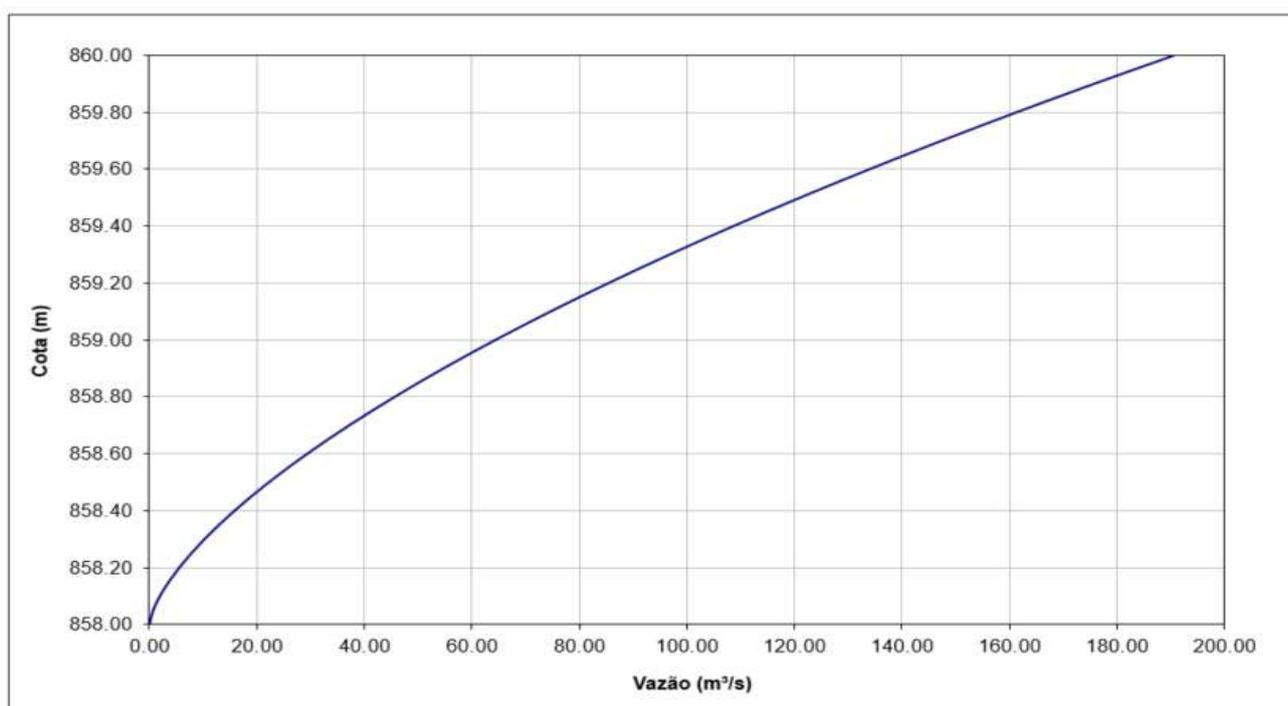


Figura 6.2.1.2: Curva de descarga do sistema extravasor da Barragem Industrial

				PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO			MINA_BLC8007-1010-G-RE-30		Folha 22/65
			WBH28-17-SAM-RTE-0030		Revisão 02

A Figura 6.2.1.3 apresenta a curva Cota x Volume do Reservatório acima da soleira na El. 858,00 m, onde pode-se observar que o volume disponível para amortecimento das cheias foi de aproximadamente 1.600.000 m³.

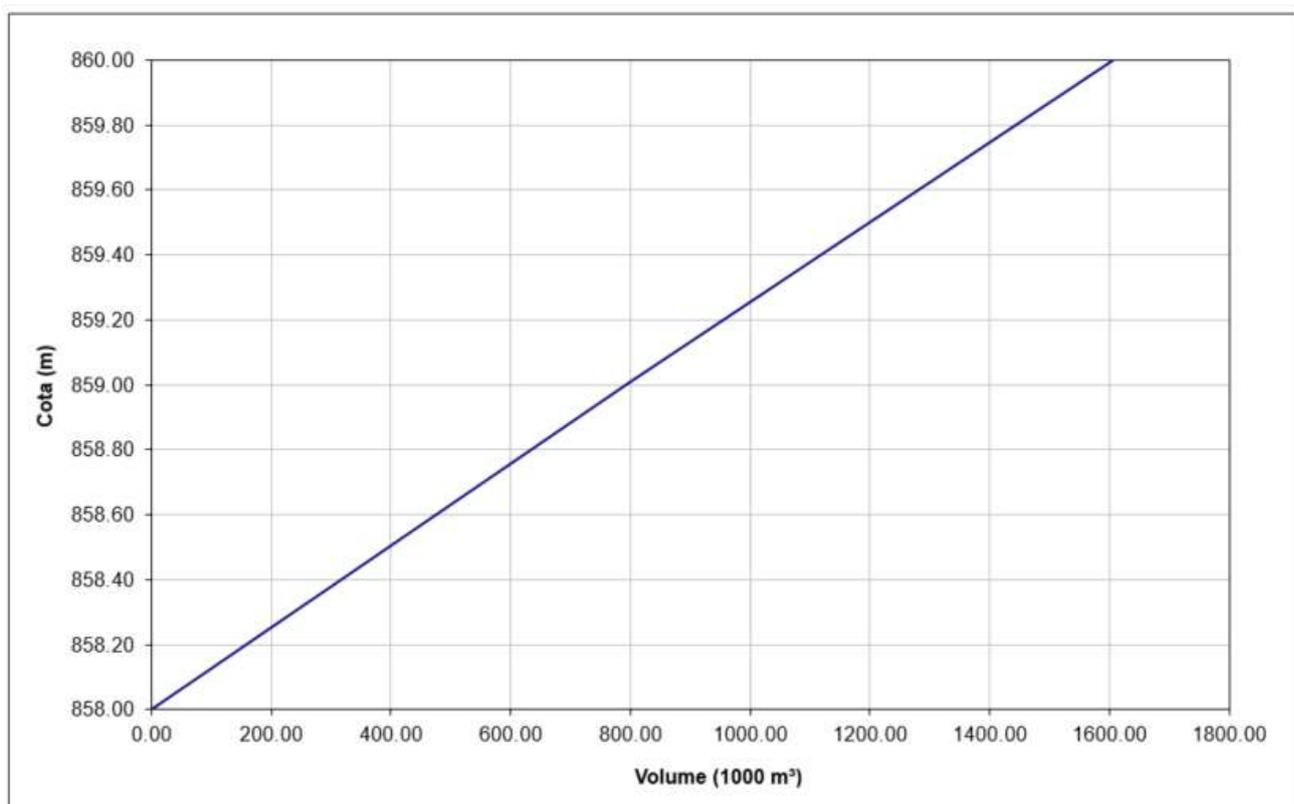


Figura 6.2.1.3: Curva Cota x Volume do Reservatório Acima da Soleira do Sistema Extravisor da Barragem Industrial

Os resultados das simulações para o sistema extravasor da Barragem Industrial podem ser visualizados na Tabela 6.2.1.3.

Tabela 6.2.1.3 – Vazões de Projeto do Sistema Extravasor da Barragem Industrial

Duração	TR 10.000 anos			
	Vazões Afluentes (m³/s)	Vazões Efluentes (m³/s)	Elevação (m)	
Horas	1	62.25	6.04	858.21
	2	94.51	15.99	858.40
	4	102.81	27.73	858.58
	6	93.90	33.72	858.66
	8	84.48	37.32	858.70
	10	76.50	39.71	858.73

				PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO			MINA_BLC8007-1010-G-RE-30		Folha 23/65
			WBH28-17-SAM-RTE-0030		Revisão 02

Duração	TR 10.000 anos			
	Vazões Afluentes (m ³ /s)	Vazões Efluentes (m ³ /s)	Elevação (m)	
12	70.26	41.31	858.75	
	58.86	43.67	858.78	
	53.21	44.28	858.78	
Dias	2	58.45	56.26	858.92
	3	56.86	55.31	858.91
	5	55.08	54.09	858.89
	7	59.55	59.31	858.95
	10	48.64	48.53	858.83
	15	38.33	38.29	858.71
	20	35.13	35.10	858.67
	30	31.98	31.96	858.63

Na Tabela 6.2.1.4 é apresentada uma síntese dos resultados encontrados nos cálculos do trânsito de cheia no reservatório da barragem Industrial.

Tabela 6.2.1.4 – Síntese do Cálculo das Vazões de Projeto para o Sistema Extravisor

Variável	Barragem Industrial
Duração crítica (dias)	7 dias
Vazão Afluente (m ³ /s)	59,55
Vazão Máxima Defluente (m ³ /s)	59,31
Cota da soleira (m)	858,00
Sobrelevação Máxima do Nível de Água (m)	858,95
Cota do Coroamento (m)	860,00
Borda livre resultante (m)	1,05

6.2.2 Sistema de Drenagem Superficial da Barragem Industrial

As vazões de projeto das estruturas constituintes do sistema de drenagem superficial da Barragem Industrial foram determinadas em conformidade com o preconizado pela NBR 13.028/2017, que recomenda os seguintes tempos mínimos de recorrência:

- 100 anos para canaletas de bermas;

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 24/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

- 500 anos para os canais periféricos.

Em virtude da magnitude das áreas de contribuições (inferiores a 1,0 km²), as vazões das estruturas constituintes do sistema de drenagem superficial da Barragem Industrial foram obtidas utilizando o Método Racional.

No Método Racional, a transformação de chuva em vazão é obtida pela aplicação de um coeficiente de escoamento definido em função da cobertura vegetal e tipo do solo da bacia de contribuição, considerando que os eventos chuvosos correspondentes às vazões máximas têm a duração igual ao tempo de concentração da respectiva bacia, ou seja:

$$Q_p = \frac{C \cdot i_{t,T} \cdot A}{3,6}$$

Onde:

Q_p: vazão de projeto (m³/s);

C: coeficiente de escoamento, determinado a partir do uso do solo e do tipo do solo;

i_{t,T}: intensidade média da chuva para uma duração t e um tempo de retorno TR (mm/h);

A: área da bacia de contribuição (km²).

Os tempos de concentração foram obtidos de acordo com os seguintes critérios:

- Nas áreas das canaletas de drenagens das bermas e dos canais periféricos utilizou-se o Método Cinemático, admitindo a velocidade de escoamento de 1,0 m/s, 5,0 m/s e 5,0 m/s, respectivamente;
- Nas áreas de terreno natural, utilizou-se o Método de Kirpich.

O coeficiente de escoamento foi admitido com base em valores consagrados por bibliografias técnicas especializadas, sendo utilizado o valor de 0,30 para áreas de matas/pasto, e 0,60 para o maciço da barragem, sendo realizada a ponderação em caso de contribuição dos dois tipos de área.

A Tabela 6.2.2.1 apresenta uma síntese das variáveis utilizadas e os resultados obtidos para as estruturas do sistema de drenagem superficial da etapa final, utilizando o Método Racional, sendo

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 25/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

TR o tempo de retorno, Tc o tempo de concentração I a intensidade média da chuva e C o coeficiente de escoamento.

Para o cálculo da vazão de projeto de dimensionamento das canaletas de drenagem das bermas considerou-se como referência a maior área de contribuição.

Tabela 6.2.2.1 – Vazões de Projeto do Sistema de Drenagem Superficial – Método Racional

Estrutura	Nome	Área de Drenagem (km ²)	TR (anos)	Tc (min)	I (mm/h)	C (Ponderado)	Vazão (m ³ /s)
Canaleta de Berma	CB	0,009	100	5	123,61	0,60	0,179
Canal Periférico	CP-01	0.665	500	5	142,23	0,37	3,08
	CP-02	0.702	500	5	142,23	0,51	0,50

7.0 ESTUDOS HIDRÁULICOS

7.1 SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial tem por objetivo coletar as águas provenientes do escoamento superficial da Barragem Industrial e conduzi-las, de forma ordenada, até o curso de água, de forma a proteger os taludes e bermas do maciço, evitando o desenvolvimento de processos erosivos. O sistema proposto é constituído pelas seguintes estruturas:

- Canaletas de drenagem nas bermas da barragem, cuja função hidráulica será de conduzir os escoamentos superficiais provenientes das bancadas da barragem até os canais periféricos. Essas estruturas foram projetadas em seção retangular revestidas em concreto, com inclinação longitudinal mínima de 0,5%;
- Canais periféricos de coleta e condução de águas superficiais, tendo como objetivo coletar o escoamento proveniente das bermas, e áreas adjacentes, descartando-os juntos as bacias de dissipação. Os canais periféricos serão instalados nas ombreiras esquerda e direita da barragem, com seção retangular, em concreto armado e serão concebidos com perfil

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 26/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

longitudinal em degraus onde a topografia possuir altas declividades, de forma a auxiliar na dissipação da energia do fluxo de água;

- Bacias de dissipação, previstas nas extremidades de jusante dos canais periféricos, com o objetivo de reduzir a energia do fluxo de água, evitando a ocorrência de processos erosivos;
- Proteção em enrocamento da interface de uma porção do maciço com o terreno natural, onde não foi previsto um canal periférico. Essa proteção foi constituída por um tapete de enrocamento numa faixa de aproximadamente 1,0 m do barramento, com espessura média de 0,50 m, visando proteger a face do maciço do escoamento superficial oriundo da drenagem superficial do terreno natural, de maneira a minimizar o surgimento de processos erosivos.

Nos desenhos MINA_BLC8007-1010-O-26 e MINA_BLC8007-1010-O-27, pode ser visualizado o arranjo geral do sistema de drenagem superficial bem como as seções típicas dos dispositivos previstos.

Como premissa de projeto, este sistema foi dimensionado considerando os seguintes períodos de retorno:

- 100 anos para as canaletas de drenagem nas bermas conforme preconizado na NBR 13.028 (ABNT, 2017);
- 500 anos para descidas de água e canais periféricos, conforme previsto na NBR 13.028 (ABNT, 2017).

7.1.1 Sistema de Drenagem Superficial da Barragem Industrial

O dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem previstas no sistema de drenagem superficial da Barragem Industrial foi realizado utilizando a metodologia proposta por Manning, descrita a seguir:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30		Folha 27/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030		Revisão 02

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times Rh^{\frac{2}{3}} \sqrt{I}$$

Onde:

- Q é a vazão em m³/s;
- n é o coeficiente de rugosidade de Manning, adotado de 0,018 (usual para concreto);
- A é área molhada em m²;
- Rh é o raio hidráulico da seção molhada (m);
- I é a declividade longitudinal (m/m).

O dimensionamento destas estruturas foi realizado para determinação da altura da lâmina de água e o critério de velocidades admissíveis. Adotou-se como premissa uma borda livre de, no mínimo, 30% da altura da lâmina de água (Chow, 1959).

Os resultados obtidos para o dimensionamento hidráulico dos dispositivos de drenagem previstos para a Barragem Industrial estão apresentados na Tabela 7.1.1.1.

Tabela 7.1.1.1 – Síntese do Dimensionamento Hidráulico do Sistema de Drenagem Superficial

Variável	Canaleta das Bermas (CB)	Canal Periférico 1 (CP-01)	Canal Periférico 2 (CP-02)
Vazão de projeto (m ³ /s)	0,179	3,08	0,50
Tempo de Retorno (anos)	100	500	500
Seção Geométrica	Retangular	Retangular	Retangular
Revestimento	Concreto Armado	Concreto Armado	Concreto Armado
Coeficiente de Manning	0,018	0,018	0,018
Declividade longitudinal mínima (%)	0,50	1,00	1,00
Largura (m)	0,50	1,50	1,00
Velocidade (m/s)	1,07	2,85	1,77
Profundidade máxima de escoamento (m)	0,33	0,72	0,28
Altura (m)	0,50	1,00	0,50
Borda livre resultante (m)	0,17	0,28	0,22

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 28/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

7.2 SISTEMA EXTRAVASOR DA BARRAGEM INDUSTRIAL

O sistema extravasor da Barragem Industrial foi concebido com a finalidade de conduzir, de forma ordenada, as vazões defluentes do reservatório em épocas de cheias até o talvegue natural, garantindo a segurança hidráulica da barragem, sendo composto pelos seguintes elementos:

- Canal de aproximação do tipo “side channel”, visando a redução da seção geométrica do longo do sistema extravasor. O canal lateral será concebido em seção trapezoidal, taludes 1V:2H, com base menor de 40 metros de largura, altura de 2,0 metros, tendo sua soleira na El. 858,00m;
- Canal do vertedouro: concebido em concreto armado, com geometria retangular, e declividade longitudinal nula em seu trecho inicial, e de 0,75% no seu trecho final. O canal do vertedouro receberá as contribuições vertidas pelo canal lateral. Essa estrutura foi concebida com seção retangular, em concreto armado, com 9,0 metros de base e altura variando de 5,0 m (trecho inicial) para 3,0 metros;
- Canal do rápido: concebido em concreto armado, com geometria retangular, tendo seu fundo constituído por degraus onde a topografia possui altas declividades, de forma a auxiliar na dissipação da energia do fluxo de água. O canal do rápido foi concebido com seção retangular, em concreto armado, com 9,0 metros de base e altura de 2,0 metros;
- Bacia de dissipação: concebida em concreto, implantada na extremidade de jusante do rápido, visando minimizar a energia do fluxo de água e a ocorrência de processos erosivos no trecho de restituição ao talvegue natural.

O dimensionamento do sistema extravasor foi realizado a partir dos hidrogramas de vazões afluentes, obtidos nos estudos hidrológicos. Adicionalmente, para determinação da vazão defluente e sobrelevação do nível de água máximo, foi considerado o potencial de amortecimento do reservatório a partir da avaliação do trânsito de cheia, também apresentada no item 6.2.1).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 29/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

7.2.1 Canal de aproximação/canal lateral

O canal de aproximação do tipo “*side channel*” foi concebido em concreto armado, com seção trapezoidal (taludes 1V:2H) e base menor com 40 metros de largura. O dimensionamento dessa estrutura foi realizado com base na vazão máxima defluente obtida do estudo de trânsito de cheias. A altura do canal foi dimensionada com base na equação de emboque citada anteriormente. A Tabela 7.2.1.1 apresenta a síntese do dimensionamento hidráulico do canal lateral.

Tabela 7.2.1.1 - Síntese do Dimensionamento Hidráulico do Canal de Aproximação

Variável	Canal Lateral
Vazão de Projeto (m³/s)	59,51
Tempo de Retorno (anos)	10.000 anos
Geometria	Trapezoidal (Taludes 1V:2H)
Largura da Base (m)	40,00
Cota da soleira (m)	858,00
NA max. Maximorum (m)	858,95
Altura da parede (m)	2,00
Borda livre resultante (m)	1,05

7.2.2 Canal do Vertedouro

O canal do vertedouro foi concebido em seção retangular, em concreto armado, com 9,0 metros de base e altura útil de 3,0 metros. Vale mencionar que a altura útil é de 3,0 metros, sendo a altura total das paredes laterais é de 5,0 metros, uma vez que essa estrutura recebe o canal lateral, com 2,0 metros de altura. Para o dimensionamento do canal do vertedouro, especificamente, para a determinação da largura do canal, utilizou-se as equações de “quedas singulares”, dadas pelas seguintes expressões:

$$Dn = \frac{q^2}{gh^3}$$

$$\frac{L_d}{h} = 4,30D_n^{0,27}$$

$$\frac{y_p}{h} = 1,00D_n^{0,22}$$

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 30/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

$$\frac{yq}{h} = 0,54D_n^{0,425}$$

$$\frac{y_2}{h} = 1,66D_n^{0,27}$$

Onde:

D_n : número de queda;

q : vazão por unidade de largura (m^2/s);

h : altura do degrau (m).

L_d : comprimento da queda;

y_p : profundidade da água na parte anterior da queda (m);

y_q : profundidade da água na parte posterior da queda, ou a profundidade conjugada montante do ressalto (m);

y_2 : profundidade conjugada jusante do ressalto.

Na Figura 7.2.2.1 podem ser visualizados os parâmetros utilizados nas equações de “quedas singulares”.

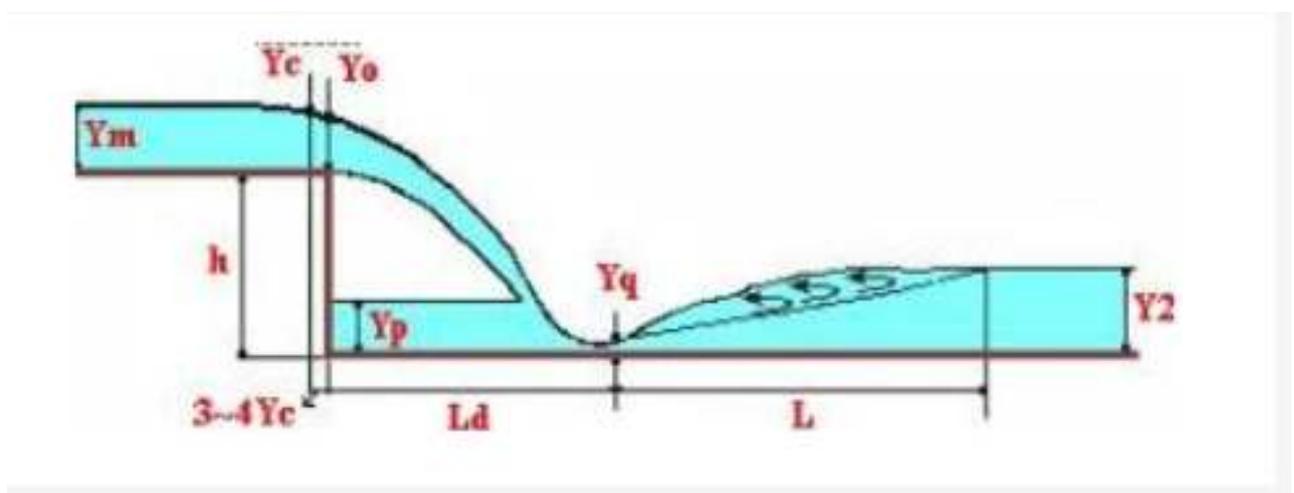


Figura 7.2.2.1: Parâmetros utilizados nas equações de “quedas singulares”

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 31/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 7.2.2.1 a seguir.

Tabela 7.2.2.1 – Verificação hidráulica do canal do vertedouro – TR = 10.000 anos

Variável	Canal do Vertedouro
Vazão (m ³ /s)	59,51
Comprimento da queda – Ld (m)	7,93
Largura adotada (m)	9,00
Profundidade y _p (m)	2,02
Profundidade y _q (m)	0,75
Profundidade y ₂ (m)	2,99
Altura adotada (m)	3,00
Comprimento do ressalto (m)	15,93
Comprimento do canal (m)	35,25 (declividade nula)
Comprimento total do canal (m)	103,38 (declividades 0,0% e 0,75%)

7.2.3 Canal do Rápido

O canal do rápido foi concebido em concreto armado, com seção retangular e perfil longitudinal em degraus onde a topografia possui altas declividades, acima de 10%.

O dimensionamento destas estruturas foi realizado considerando os trechos com declividade máxima e mínima apresentados pelo canal, para determinação da velocidade máxima e altura máxima da lâmina de água, respectivamente.

Nos trechos em que esta estrutura apresenta perfil longitudinal em degraus, o dimensionamento foi realizado com o auxílio do programa SisCCoH, desenvolvido pela UFMG em parceria com a empresa Pimenta de Ávila.

Nos trechos sem degraus, foi utilizada a metodologia proposta por Manning, admitindo o escoamento permanente e uniforme. O coeficiente de Manning adotado foi de 0,018, usual para revestimento em concreto.

Os resultados obtidos para o dimensionamento hidráulico do canal do rápido estão apresentados na Tabela 7.2.3.1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 32/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Tabela 7.2.3.1 - Síntese do Dimensionamento Hidráulico do Canal do Rápido

Variável	Canal do Rápido	
	Trecho com degraus (Skimming Flow)	Trecho sem degraus (Manning)
Vazão de projeto (m³/s)	59,51	59,51
Tempo de Retorno (anos)	10.000	10.000
Seção geométrica	Retangular	Retangular
Revestimento	Concreto	Concreto
Largura (m)	9,00	9,00
Declividade mínima (%)	11,41	1,00
Declividade máxima (%)	33,46	3,88
Altura do degrau (m)	0,50	-
Velocidade máxima (m/s)	9,96	8,38
Profundidade máxima de escoamento (m)	1,08	1,22
Altura da parede (m)	2,00	2,00
Borda livre mínima (m)	0,92	0,78

7.2.4 Bacia de Dissipação

A bacia de dissipação foi concebida em concreto armado, com seção retangular, com base de 9,00 m, altura de 3,20 m e comprimento de 17,00 m com a finalidade de atenuar a velocidade do escoamento proveniente do rápido, a fim de restituir o fluxo de maneira adequada para o talvegue natural a jusante.

Para o dimensionamento hidráulico desta estrutura, adotou-se a equação da altura conjugada do ressalto e a formulação empírica para determinação do comprimento do ressalto hidráulico, constante na publicação “Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators” proposta pela Bureau of Reclamation (1984), de acordo com as equações explicitadas abaixo, respectivamente.

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + F_1^2} - 1 \right)$$

$$L_R = 6,9 \cdot (y_2 - y_1)$$

Sendo y_1 a profundidade do escoamento na entrada da bacia de dissipação (m), y_2 a altura do fluxo de água ao final da dissipação, F_1 o número de Froude do escoamento na entrada da bacia de dissipação, e L_R o comprimento do ressalto.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 33/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

A Tabela 7.2.4.1 apresenta os resultados obtidos para o dimensionamento hidráulico da bacia de dissipação do sistema extravasor.

Tabela 7.2.4.1 – Síntese do Dimensionamento Hidráulico da Bacia de Dissipação

Variável	Bacia de Dissipação
Vazão de Projeto (m³/s)	59,51
Velocidade estimada na entrada da bacia (m/s)	9,01
Número de Froude na entrada	3,36
Largura da bacia (m)	9,00
Altura da lâmina de água na entrada da bacia (m)	0,73
Altura da lâmina de água conjugada (m)	3,14
Comprimento da bacia mínimo necessário (m)	16,57
Altura da parede adotada (m)	3,20
Comprimento da bacia de dissipação adotado (m)	17,00

8.0 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Em função das informações fornecidas pela SAM, foi desenvolvido o estudo geotécnico da Barragem Industrial, avaliando a fundação, dimensionando a drenagem interna e verificando a geometria com análises de estabilidade em concordância com a norma NBR-13028 (ABNT, 2017).

8.1 TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

É importante salientar que não foi realizado mapeamento geológico-geotécnico e nem investigações geológicas geotécnicas para elaboração deste projeto. As informações utilizadas foram extraídas de projeto anteriores em áreas próximas e por informações fornecidas pela da equipe da SAM.

De tal modo, considerou-se uma limpeza de 1,0 m em toda a área da barragem com a finalidade de eliminar todo material solto e de cobertura vegetal.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 34/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

8.2 ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

Para avaliar o comportamento do nível d'água freático no interior do maciço e obter as vazões de percolação necessárias ao dimensionamento do sistema de drenagem interna, foram realizadas análises de percolação para as seções localizadas na ombreira direita, esquerda e para a região central do maciço. As seções são apresentadas no documento MINA_BLC8007-1010-O-29 presente no APÊNDICE D.

As análises de percolação foram realizadas por meio do software Slide 7.0, desenvolvido pela Rocscience, que utiliza a metodologia de elementos finitos.

Os parâmetros de permeabilidade dos materiais de aterro, fundação e drenagem foram estimados pela equipe da WALM, com base em solos similares.

Os parâmetros geotécnicos de permeabilidade são apresentados na Tabela 8.2.1.

Tabela 8.2.1 - Coeficientes de permeabilidade dos materiais

Material	Coeficiente de permeabilidade [m/s]	k_v/k_h
Aterro	$1,0 \times 10^{-7}$	0,10
Fundação	$1,0 \times 10^{-6}$	1,00
Areia	$5,0 \times 10^{-4}$	1,00
Brita 0	$1,0 \times 10^{-2}$	1,00

Os resultados das análises de percolação são apresentados no APÊNDICE A. Pode ser observado o comportamento das linhas de fluxo e equipotenciais, bem como os valores das vazões percoladas que servirão de subsídio para o dimensionamento da drenagem interna. Para o projeto básico deverão ser realizadas novas análises com os parâmetros obtidos na campanha de investigação geológico-geotécnica proposta.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 35/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

8.3 DRENAGEM INTERNA

Nesta etapa de projeto foi elaborado o pré-dimensionamento do sistema de drenagem em nível conceitual com base na vazão percolada obtida por meio das análises de percolação.

O sistema de drenagem proposto para a Barragem Industrial é composto por um filtro vertical para o maciço, bem como tapetes de ombreira e de fundo.

A espessura do tapete horizontal foi dimensionada separadamente para a região de cada ombreira e do fundo do talvegue, a partir das vazões resultantes das análises de percolação correspondentes a cada região

Como o fluxo pelo sistema de drenagem interna da barragem é laminar, pode-se dimensioná-lo através da equação de Darcy. Logo, tem-se:

$$Q^{projeto} = k * i * A \quad \text{Equação 8.3.1}$$

Onde,

- $Q_{projeto}$ é a vazão calculada;
- k é o coeficiente de permeabilidade do material que compõe o sistema de drenagem interna;
- i é o gradiente hidráulico;
- A é a área da seção transversal.

Sobre os referidos parâmetros da equação temos que:

A vazão de projeto ($Q_{projeto}$) é obtida pelo produto da vazão calculada e o Fator de Segurança – FS ($Q_{projeto} = Q_{calculada} * FS$), onde:

- A vazão calculada corresponde ao produto da vazão percolada, obtida por metro linear nas análises de percolação, e o comprimento do sistema de drenagem interna ($Q_{calculada} = q_{calculada} * L$);
- O fator de segurança adotado é igual a 10;

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30		Folha 36/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030		Revisão 02

- O gradiente hidráulico (i) é a relação entre a perda de carga (ΔH) e o comprimento (L). Este gradiente pode ser obtido nas análises de percolação ou pode ser calculado;
- A área da seção transversal é o produto do comprimento pela altura da estrutura.

Logo, o dimensionamento do sistema de drenagem interna da barragem foi obtido através das equações a seguir:

$$Q_{projeto} = k * i * A$$

$$Q_{projeto} = k * i * (x * L)$$

$$\frac{Q_{projeto}}{L} = k * i * x$$

$$q_{projeto} = k * i * x$$

Adotando-se um fator de segurança, temos:

$$q_{projeto} = FS * q_{calculada}$$

$$k * i * x = FS * q_{calculada}$$

$$x = \frac{FS * q_{calculada}}{k * i}$$

Com relação aos gradientes hidráulicos “ i ”, o valor adotado para o dimensionamento de filtro vertical de areia é de 1,0. Portanto, substituindo os valores de FS e i na equação acima, tem-se:

Tabela 8.3.1 - Dimensionamento do filtro vertical e tapete horizontal

Trechos	Material	Coefficiente de permeabilidade k (m/s)	i (m/m)	x (cm)	$x_{adotado}$ (m)
Filtro Vertical	Areia	$5,0 \times 10^{-4}$	1,0	5,88	1,00
Tapete - Ombreira Direita	Areia	$5,0 \times 10^{-4}$	0,34	23,95	0,90
Tapete - Ombreira Esquerda	Areia	$5,0 \times 10^{-4}$	0,28	27,43	0,90
Tapete – Central	Brita	$1,0 \times 10^{-2}$	0,37	0,77	0,50

Para os tapetes de ombreira (direita e esquerda) considerou-se a areia como elemento drenante com permeabilidade estimada em $5,0 \times 10^{-4}$ m/s. Já para o tapete central, que recebe a maior vazão

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 37/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

considerou-se a areia apenas como material de transição, sendo a camada drenante composta por brita 0, de permeabilidade estimada em $1,0 \times 10^{-2}$ m/s.

A partir dos dimensionamentos realizados, a drenagem interna da Barragem Industrial será constituída por filtro vertical em areia com espessura de 1,00 m, tapetes drenantes de ombreira em areia com espessura de 0,90 m e tapete central do tipo sanduíche com núcleo drenante em brita 0 com espessura de 0,50 m envolto por transição geotécnica em areia com camada de 0,30 m. O ponto de desague é constituído por um dreno de pé em enrocamento localizado na base do talvegue natural.

Para mais detalhes acerca da drenagem interna da Barragem Industrial, consultar o documento MINA_BLC8007-1010-O-25 presente no APÊNDICE D.

8.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Para verificação da geometria proposta foram realizadas análises de estabilidade utilizando o Software Slide 7.0, através do método do equilíbrio limite de GLE/ Morgenstern Price.

A seção utilizada para a análise estabilidade foi a seção A-A', como pode ser visto no documento MINA_BLC8007-1010-O-29 presente no APÊNDICE D.

Os critérios de aceitação para as análises foram estabelecidos de acordo com a norma técnica NBR 13.028 (ABNT, 2017), com exceção da análise entre bermas que foi considerado o fator de segurança mínimo de 1,50.

Quanto à determinação dos fatores de segurança, em termos de tensões efetivas, foram consideradas as seguintes premissas gerais:

- Materiais isotrópicos e homogêneos;
- Ruptura global do talude do tipo circular;
- Níveis freáticos, normal e crítico, obtidos pela análise de percolação;

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 38/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

- Para final de construção, foi considerado o fator de poropressão ($ru = u/\sigma_v$) igual a 0,15 para o solo compactado e $ru = 0,10$ para o solo de fundação.

Para simulação da superfície freática normal, foi considerado o perfeito funcionamento do filtro vertical e do tapete drenante. Para a análise da superfície freática crítica foi considerada o filtro e o tapete colmatados.

A estabilidade contra rebaixamento rápido será avaliada em etapa posterior do desenvolvimento do projeto, quando estiver definida a lei de operação do reservatório.

Os parâmetros de resistência dos materiais de aterro, fundação e drenagem foram estimados pela equipe da WALM, com base em solos similares.

Os valores dos parâmetros de resistência são apresentados na Tabela 8.4.1. Os resultados das análises são apresentados na Tabela 8.4.2.

Tabela 8.4.1 - Parâmetros de Resistência dos Materiais

Material	γ (kN/m ³)	c'(kPa)	ϕ' (°)
Aterro	18	15	28
Fundação	21	15	30
Areia	20	0	35
Brita 0	22	0	36

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 39/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Tabela 8.4.2 – Resultados Análises de Estabilidade

N.A	Condição	Talude	FS Requerido	FS Obtido	Figura
Operacional	Final de Construção	Jusante	1,30	1,41	Figura B 1
		Montante		1,34	Figura B 2
	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,66	Figura B 3
		Entre Bermas	1,50	1,96	Figura B 4
Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,66	Figura B 5
	Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,30	Figura B 6

No APÊNDICE B são apresentadas as figuras com os resultados obtidos para as análises de estabilidade realizadas.

8.4.1 ANÁLISE SISMICA

O objetivo da análise de sismo (pseudo-estática) é simular, preliminarmente, o efeito dos impulsos gerados pelo sismo natural e do sismo desencadeado pelas detonações na cava do Projeto Bloco 8.

8.4.1.1 SISMO NATURAL

8.4.1.1.1 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE SÍSMICO

Para o estudo da estabilidade sísmica da Barragem Industrial foi utilizado o Método Pseudo-Estático.

O Método Pseudo-Estático ou Método do Coeficiente Sísmico é uma extensão do Método das Lamelas, que é baseado na Teoria do Equilíbrio Limite.

Trata-se de um método simplificado no qual o efeito sísmico é considerado por meio do acréscimo de força estática, cuja intensidade é obtida por meio do produto do peso W da massa de solo potencialmente instável por um coeficiente (k) – denominado coeficiente sísmico.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 40/65
		WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02

Segundo Kramer (1996), as forças de inércia geradas pelo carregamento dinâmico devido ao sismo são dadas pelas equações:

$$F_h = k_h x W \quad \text{Equação 8.4.1.1.1}$$

$$F_v = k_v x W \quad \text{Equação 8.4.1.1.2}$$

Onde F_h e F_v são as componentes horizontal e vertical da força de inércia gerada pelo carregamento dinâmico.

Nas análises de estabilidade pseudo-estáticas a componente vertical do esforço sísmico é desprezada nos cálculos, pois, seu efeito na estabilidade não é significativo.

Desta forma, de acordo com Kramer (1996) e Duncan & Wright (2005), a fórmula a ser utilizada para cálculos da força do sismo considerado pode ser obtida por meio da Equação 8.4.1.1.3.

$$F_h = k_h x W \quad \text{Equação 8.4.1.1.3}$$

O coeficiente sísmico k é definido pela Equação 8.4.1.1.4.

$$k = \frac{a_{ref}}{g} \times \frac{a}{a_{ref}} \quad \text{Equação 8.4.1.1.4}$$

Onde:

a_{ref} = aceleração de referência de pico;

g = aceleração da gravidade;

a/a_{ref} = multiplicador de aceleração.

A definição da aceleração de pico na área do Projeto Bloco 8 mereceu uma análise de sismicidade particular, com a avaliação de dados de epicentros de diversos eventos compreendidos dentro de um raio máximo de 300 km em relação ao empreendimento.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 41/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Para a obtenção dos dados foram avaliados os dados dos eventos baseados nos documentos MINA_BLC8007-1010-G-RE-34_R00, MINA_BLC8007-1010-G-RE-50_R00 e nas seguintes bibliografias:

- Livro “Sismicidade do Brasil” (Berrocal et al. 1984), para os eventos históricos e até 1981;
- “Boletim Sísmico Brasileiro” (descontínuo), publicado pela Revista Brasileira de Geofísica entre 1983 e 1997, para os sismos ocorridos entre 1982 e 1995;
- intercâmbio técnico-científico entre os grupos de Sismologia do IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo), do OS/UnB (Observatório Sismológico da Universidade de Brasília), do ON-RJ (Observatório Nacional), da UFRN (Grupo de Geofísica) e do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.), para os sismos ocorridos após 1996.

Os estudos de sismo natural desenvolvidos pela WALM, compreendeu a avaliação dos dados existentes e tratamento estatístico para eliminar possíveis interpretações indesejáveis dos eventos, com o intuito de permitir uma análise de uma cobertura mais uniforme dos fenômenos. Com os limites considerados nas análises realizadas, foram determinadas as estimativas de probabilidades de ocorrência de determinados níveis de aceleração no ponto central da área de interesse, oriundos de eventos locais e regionais.

Para os estudos, foi considerado a avaliação do Perigo Sísmico utilizando as metodologias veiculadas por Burton (1978) e Assumpção (1985), com seguintes hipóteses:

- a sismicidade ocorre em uma área grande e que o local de interesse esteja longe das bordas da área sísmica considerada;
- considera-se para o cálculo das probabilidades de ocorrência de uma dada aceleração no local de interesse, a contribuição (em termos de probabilidade) da ocorrência de todas as magnitudes em qualquer ponto da área sísmica (hipótese de "sismicidade difusa").

Para os estudos foi considerado ainda, a atenuação de aceleração com a distância epicentral para estimar os níveis de aceleração para o empreendimento, sendo importante salientar que a Lei de Atenuação se refere às acelerações em nível do perfil rochoso.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 42/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

Com base nos resultados da avaliação do perigo sísmico, considerando a vida útil do empreendimento de 50 anos, os níveis de aceleração de pico na rocha (rocha sã) máxima seria equivalente a 0,037 g (já corrigida a incerteza da lei de atenuação), com período de retorno e 965 anos.

Assim, os estudos realizados pela WALM, baseados em dados de monitoramento, estudos de perigo sísmico e leis de atenuação para o Projeto Bloco 8, mostram que o sismo natural apresenta uma aceleração de pico no topo rochoso igual a 0,037g (m/s^2) ($a_{pico,rocha}=0,037$ g) .

Para mais detalhes em relação ao estudo de sismo natural para a área do Projeto Bloco 8, consultar o documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-34_R00 elaborado pela WALM.

Outra consideração relevante é avaliar o Mapa Sismológico Brasileiro, que contém a distribuição das acelerações de pico em rocha com probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos, correspondendo a um período de recorrência de 475 anos (inferior ao tempo de retorno estimado nos estudos realizados pela WALM).

O Mapa de Ameaça Sísmica é apresentado na Figura 8.4.1.1.1.1, sendo o mais atualizado para o território brasileiro. Foi desenvolvido por Assumpção et al. (2016) e publicado no Boletim nº 96 da Sociedade Brasileira de Geofísica. Avaliando o mapa supracitado, verifica-se que a aceleração de pico para o Projeto Bloco 8 é equivalente a 0,04 g ($a_{pico}=0,04$ g).

Comparando os estudos realizados no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-34_R00 e o Mapa de Ameaça Sísmica, verifica-se que os valores obtidos de aceleração de pico nos estudos realizados pela WALM ($a_{pico} =0,037$ g) são extremamente próximos aos valores do Mapa de Ameaça Sísmica ($a_{pico}=0,04$ g), tornando-se, assim, consistente para o estudo.

Com o intuito de determinar a sensibilidade em relação aos efeitos causados pela aceleração de pico obtida para o empreendimento (0,037 g), buscou-se correlações existente em literatura para a avaliação dos efeitos. Para tal, foi considerado a Escala de MERCALLI Modificada (MM) que correlaciona os efeitos causados por sismos em função da intensidade e aceleração de pico, conforme apresentado na Tabela 8.4.1.1.1.1.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 43/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02

Tabela 8.4.1.1.1.1 – Escala de Intensidade de MERCALLI Modificada (Assumpção & Dias Neto, 2000)

Grau	Descrição dos Efeitos	Aceleração (g)
I (imperceptível)	Não sentido, exceto em condições extremamente favoráveis. Leves efeitos de período longo de terremotos grandes e distantes. Registrado (“sentido”) apenas pelos sismógrafos.	-
II (Muito Fraco)	Sentido apenas por algumas pessoas, especialmente em prédios altos. Objetos leves podem balançar.	<0,003
III (Fraco)	Sentido por algumas pessoas em casa, especialmente em prédios altos. Alguns objetos pendurados oscilam. Vibração parecida com a da passagem de um caminhão leve. Duração estimada. Pode não ser reconhecido como um abalo sísmico.	0,003 a 0,008
IV (Moderado)	Sentido em casa por muitas pessoas, e na rua por poucas pessoas durante o dia. À noite algumas pessoas despertam. Pratos, janelas e portas vibram, e as paredes podem ranger. Os carros e motos parados balançam visivelmente. A vibração é semelhante à provocada pela passagem de veículos pesados ou à sensação de uma pancada de uma bola pesada nas paredes.	0,008 a 0,015
V (Forte)	Sentido por praticamente todas as pessoas; muitos despertam. As pessoas conseguem identificar a direção do movimento. Líquido em recipiente é perturbado. Objetos pequenos e instáveis são deslocados. Portas oscilam, fecham, abrem. Os movimentos de pêndulos podem parar.	0,015 a 0,04
VI (Forte)	Sentido por todas as pessoas; muitos se amedrontam e saem às ruas. Pessoas andam sem firmeza. Algumas mobílias pesadas podem se movimentar. Louças e alguns vidros de janelas são quebrados. Objetos e livros caem de prateleiras. Observação de danos moderados em estruturas civis de má qualidade. Pequenos sinos tocam em igrejas e escolas.	0,04 a 0,08
VII (Muito Forte)	Difícil manter-se de pé. Objetos suspensos vibram. Moveis quebram. Danos em construção de má qualidade, algumas trincas em construção normal. Queda de reboco, ladrilhos ou	0,08 a 0,15

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 44/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02

	tijolos mal assentados e telhas. Ondas em piscinas. Pequenos escorregamentos em taludes arenosos.	
VIII (Muito Forte)	Danos em construções normais com colapso parcial. Algum dano em construções reforçadas. Queda de estuque e alguns muros de alvenaria. Queda de chaminés, monumentos, torres e caixas d'água. Galhos de arvores são quebrados. Trincas são evidenciadas na superfície.	0,15 a 0,30
IX (Muito Forte)	Pânico Geral. Construções comuns bastante danificadas, às vezes com colapso total. Danos em construções reforçadas. Tubulações subterrâneas quebradas. Rachadura visível na superfície do solo.	0,30 a 0,60
X (Catastrófico)	Maioria das construções destruídas, inclusive fundações. Danos sérios a Barragens e Dique. Grandes escorregamentos de terra. Água jogada nas margens de rios e canais. Trilhos levemente distorcidos.	0,60 a 1,00
XI (Catastrófico)	Trilhos bastante distorcidos, Tubulações subterrâneas completamente destruídas.	1,00 a 2,00
XII (Catastrófico)	Destruição quase total. Grandes blocos de rocha deslocados. Linhas de visada e níveis alterados. Objetos atirados ao ar.	> 2,00

A partir da escala de MERCALLI Modificada, verifica-se que as acelerações de pico obtidas através do estudo realizado para o Projeto Bloco 8, bem como obtidas pelo mapa de ameaça sísmica, enquadram-se em Intensidades de **Grau V (Forte)**, cujos efeitos são descritos na Tabela 8.4.1.1.1.1.

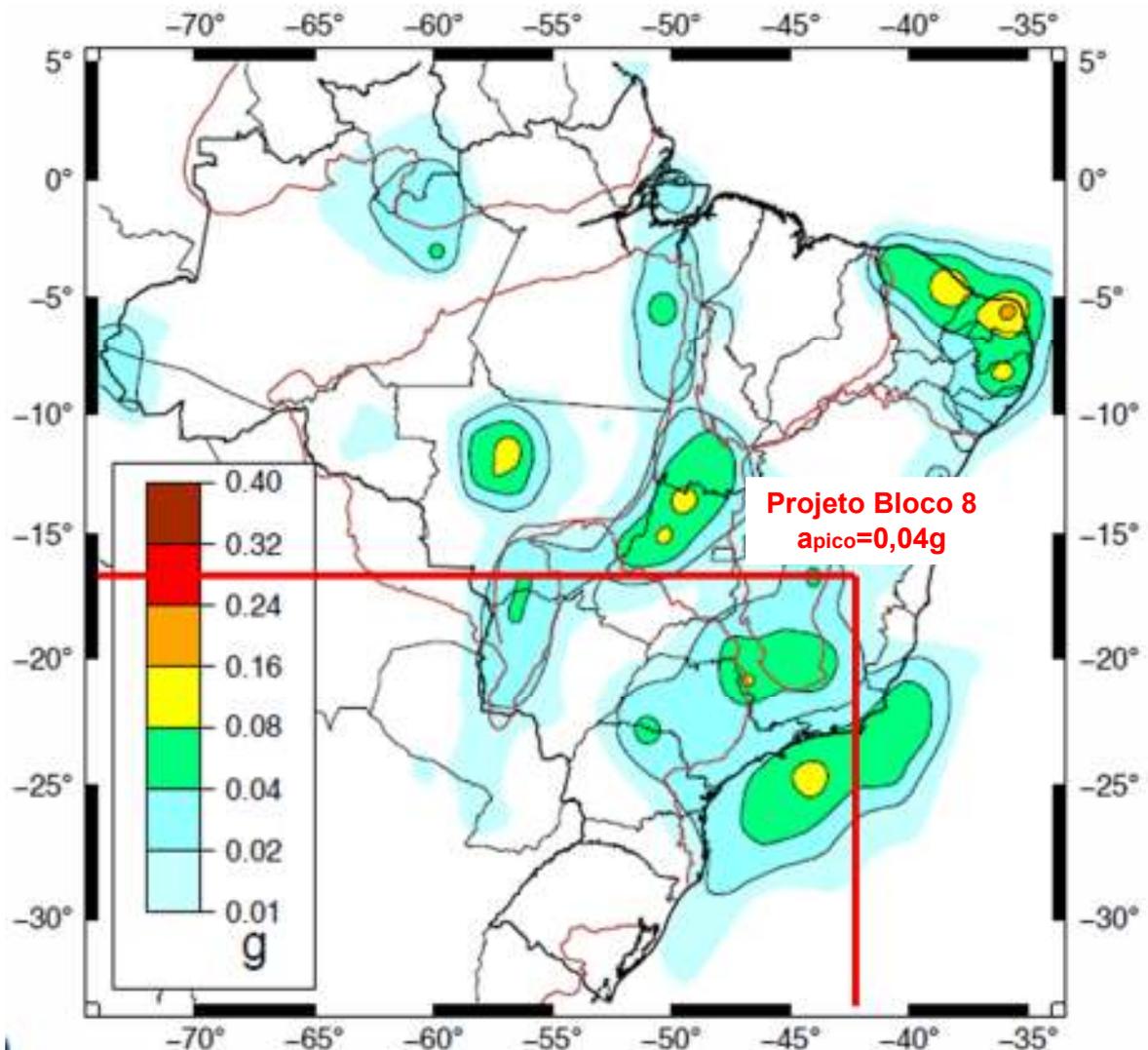


Figura 8.4.1.1.1.1 - Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro (Assumpção et al.,2016)

Acelerações de pico em rocha (PGA_{rock}). Probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos correspondendo a um período de retorno de 475 anos.

Para a definição do multiplicador de aceleração ($\frac{a}{a_{ref}}$), a bibliografia consultada compila diversos métodos para realização de análises pseudo-estáticas na determinação de sismos.

A Tabela 8.4.1.1.1.2, apresentada em Duncan e Wright (2005), reúne os métodos que podem ser utilizados para realização destas análises.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 46/65
		WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02

Tabela 8.4.1.1.1.2– Métodos de análises pseudo-estáticas (Duncan e Wright, 2005)

Referência	Aceleração de Referência a_{ref}	Multiplicador de Aceleração a/a_{ref}	Fator de Redução de Resistência do Solo	Fator de Segurança Mínimo	Deslocamento Tolerável
Makdisi & Seed (1978)	0,2 g (M~6 ½)	0,5	0,8	1,15	Aprox. 1,0 m
Makdisi & Seed (1978)	0,75 g (M~8 ¼)	0,2	0,8	1,15	Aprox. 1,0 m
Hynes-Griffin & Franklin (1984)	PHA _{rock}	0,5	0,8	1,0	1,0 m
Bray et. al (1998)	PHA _{rock}	0,75	Recomendado o uso de forças conservadoras (por exemplo, residual)	1,0	0,30 m para a superfície de aterros; 0,15 m para a base de deslizamento de aterros
Kavazanjian et. al (1997)	PHA _{soil}	0,17 se a análise de resposta é realizada	0,8 para argilas totalmente saturadas ou sensitivas	1,0	1,0
		0,5 se a análise de resposta não é realizada			

Neste estudo, adotou-se o método de Hynes-Griffin & Franklin (1984). Seguindo a recomendação da metodologia deste autor foi realizada a redução de resistência de todos os materiais conforme Tabela 8.4.1.1.1.3.

Tendo em vista todas as informações supracitadas e seguindo o preconizado na Equação 8.4.1.1.1.4, os valores adotados para determinação do coeficiente sísmico natural para a Barragem Industrial a partir da atividade sísmica “natural” no Brasil resultou em:

$$k = \frac{0,037g}{g} \times \frac{a}{a_{ref}}$$

$$k = 0,037 \times 0,5 = 0,0185$$

A análise do sismo desencadeado pela atividade sísmica do Brasil foi realizada através do software Slide 7.0, desenvolvido pela Rocscience.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 47/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Tabela 8.4.1.1.1.3– Parâmetros de resistência reduzida pelo fator de (0,8) de Hynes-Griffin & Franklin (1984)

Material	γ (kN/m ³)	Parâmetros de Resistência	
		c'	ϕ' (°)
Aterro	18	12	23,04
Fundação	21	12	24,79
Areia	20	0	29,26
Brita 0	22	0	30,17

A Tabela 8.4.1.1.1.4 apresenta o resultado das análises de estabilidade pseudo-estáticas geradas. As suas figuras correspondentes são apresentadas no APÊNDICE C.

Tabela 8.4.1.1.1.4– Resultados das análises de estabilidade sísmica induzida pelo sismo natural.

N.A	Talude	Kh	F.S. Requerido	F.S. Obtido	Figura
Max Maximorum	Jusante	0,0185	1,10	1,26	Figura C 1
	Montante		1,10	1,11	Figura C 2

8.4.1.2 SISMO DESENCADEADO POR DETONAÇÕES

Para as operações de exploração da cava do Projeto Bloco 8 a SAM irá realizar o desmonte dos materiais com utilização de explosivos. Estas atividades irão desencadear sismo pelo efeito das detonações na área do empreendimento, sendo que seus efeitos deverão ser controlados, com o intuito de garantir a segurança das estruturas civis, industriais e geotécnicas a serem construídas na área do projeto.

Estas estruturas englobam os barramentos do Projeto Bloco 8, no qual está inserida a Barragem Industrial. Para a verificação dos impactos causados pelas detonações ao longo do empreendimento, foi realizado pela SAM o estudo relativo ao sismo desencadeado pelas detonações na área do Projeto Bloco 8, considerando o Plano de Lavra proposto pela VENTURINI Consultoria (2018) representado pelo documento PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 48/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Os estudos de sismo desencadeado pelas detonações foram desenvolvidos pela VMA Engenharia de Explosivos e Vibrações e consiste na estimativa dos níveis de vibração a serem produzidos nos desmontes, conforme o plano de lavra.

Para os estudos, foi elaborado o modelo para a determinação das velocidades de deslocamento de partículas em relação as cargas de detonação (carga por espera) e distância entre o ponto de detonação e as estruturas em questão.

Os estudos basearam-se na avaliação das vibrações pelo terreno que se propagam em áreas de cenários similares ao do Projeto Bloco 8. Foi tomado como referência, estudos desenvolvidos para diferentes minerações de ferro no Brasil, que apresentam dados de monitoramento de campo.

A partir dos estudos realizados pela SAM/VMA, determinou-se um modelo de projeção sismográfica para um cenário similar ao do Projeto Bloco 8, sendo representado pela Equação 8.4.1.2.1.

$$V_{p\text{máx}} = 600 \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,113} \quad \text{Equação 8.4.1.2.1}$$

Onde:

V_p= Velocidade de partícula máxima em mm/s;

D= Distância entro a detonação e o ponto de estudo alvo de alguma proteção em metros (m);

Q = Carga detonada por espera em quilograma (kg).

A NBR 9653 (ABNT, 2018) considera alguns limites em função da frequência, e que varia bastante, em função principalmente da rocha, e subsidiariamente de características do desmonte e ainda da faixa de distâncias. A Tabela 8.4.1.2.1 abaixo apresenta os limites máximos de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência recomendados pela NBR 9653 (ABNT,2005).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 49/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Tabela 8.4.1.2.1– Limites de vibração pelo terreno conforme norma ABNT 9653:2005.

Faixa de Frequência	Limites de Velocidade de Vibração de Partícula de Pico
4 a 15 Hz	Iniciando em 15 mm/s, aumenta linearmente até 20 mm/s
15 a 40 Hz	Acima de 20 mm/s, aumenta linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s

Para o presente estudo não foram realizadas análises pseudo-estáticas para a avaliação da estabilidade da Barragem Industrial 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 Industrial 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 Predicting the effects of Blasting on Pore Pressure*”.

Para as demais etapas do estudo, recomenda-se que a SAM realize o monitoramento sismológico da abertura da lavra (pré-stripping), para avaliação das frequências e velocidades máximas de partículas, subsidiando a calibração do modelo desenvolvido no estudo realizado pela SAM/VMA, bem como para a estimativa precisa das velocidades de pico para a área da Barragem Industrial.

Ressalta-se que em relação ao arranjo geométrico elaborado pela WALM para a barragem, considerando a configuração da Cava final do projeto para 18 anos, a distância mínima entre a barragem e a borda da estrutura é da ordem de 2,00 km. Esta distância deverá ser considerada, bem como as cargas por espera a serem praticadas pela SAM nos planos de lavra.

9.0 CLASSIFICAÇÃO CONFORME PORTARIA DNPM Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017

De acordo com a Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, a qual estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB destinadas à acumulação de água para quaisquer

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 50/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, uma estrutura é considerada barragem se apresentar pelo menos uma das seguintes características:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m (quinze metros);
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de dano potencial associado – DPA, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Conforme Artigo 7º da Lei Federal nº 12.334, as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, com base nos critérios gerais estabelecidos Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017.

Na Tabela 9-1, encontram-se detalhadas as características inerentes a Barragem Industrial e os pesos imputados a cada um dos parâmetros de classificação.

Tabela 9-1 – Classificação da Barragem Industrial conforme Portaria DNPM

QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Volume Total do Reservatório	3	19.320.000,00 m ³
Existência de População à Jusante	3	Não há pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local
Impacto Ambiental	2	Área a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APP's, e armazena apenas resíduo calasse IIB – inerte segundo a NBR 10.004 da ABNT
Impacto Sócio-Econômico	1	Baixa concentração de instalações residenciais
Somatório	9	
QUANTO A CATEGORIA DE RISCO		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Altura	7	82,00 m

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 51/65
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02

Comprimento	3	669,68 m
Vazão de Projeto	0	TR = 10.000 anos
Método Construtivo	0	Barragem construída em etapa única
Auscultação	0	Conforme projeto técnico
Somatório	10	
ESTADO DE CONSERVAÇÃO (EC)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	0	Estrutura bem mantida e em operação normal
Percolação	0	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem
Deformações e Recalques	0	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura
Deterioração dos Taludes / Paramentos	0	Não existe deterioração de taludes e paramentos
Somatório	0	
PLANO DE SEGURANÇA (PS)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Documentação de Projeto	8	Há documentação técnica de projeto conceitual
Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem	0	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem
Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento	0	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e inspeção
Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador)	0	Possui PAE
Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança	0	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança
Somatório	8	

Tabela 9-2 – Resumo da Classificação da Barragem Industrial

DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES	
Características Técnicas (CT)	10
Estado de Conservação (EC)	0
Plano de Segurança de Barragens (PS)	8
Pontuação Total da Categoria de Risco (CRI)	18

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 52/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Dano Potencial Associado (DPA)	9
Categoria de Risco	Baixo
Dano Potencial Associado	Médio
Classe	C

Tabela 9-3 – Matriz de Classificação da Barragem Industrial

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	B	C	E

10.0 PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO

O plano de instrumentação visa permitir o controle e o monitoramento dos fatores associados à estabilidade da Barragem Industrial. A Tabela 10.1 apresenta uma síntese dos tipos e quantitativos de instrumentos a serem instalados na barragem e suas respectivas funções.

Tabela 10.1 – Tipos de instrumentos de monitoramento/respectiva funções

Instrumento	Quantidades	Localização	Função
Piezômetro	08	Fundação	Acompanhamento da evolução dos níveis de sub-pressões desenvolvidos ao longo da fundação.
INA	08	Maciço	Monitoramento do nível da freática estabelecida no interior do maciço.
Marco Superficial	08	Maciço	Acompanhamento de recalques e deslocamentos horizontais da estrutura.

Os INA's deverão ser instalados 1,00 m acima dos drenos de fundo e/ou fundação projetado de forma a avaliar quaisquer variações devido ao mau funcionamento dos mesmos.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 53/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Já os piezômetros (PZ's) deverão ser instalados 2,00 metros abaixo da cota da fundação e/ou dreno de fundo de forma a acompanhar o desenvolvimento das pressões neutras pela disposição do estéril, fundação e drenos de fundo.

Os marcos topográficos deverão ser dispostos ao longo das bermas da barragem nas suas seções mais críticas em termos de estabilidade de forma a acompanhar quaisquer movimentações na estrutura, sendo aplicado em conjunto com os INA's e PZ's.

As coordenadas de instalação dos instrumentos, bem como as informações a respeito da elevação e profundidade dos mesmos, são apresentadas na Tabela 10.2.

Tabela 10.2 – Dados da instrumentação prevista para a Barragem Industrial.

Instrumento	Identificação	Coordenadas		Elevação (m)	Profundidade (m)
		E	N		
Piezômetro (PZ)	PZ 01	744.260,34	8.198.505,80	850,00	36,00
	PZ 02	744.244,36	8.198.555,37	830,00	25,00
	PZ 03	744.227,77	8.198.605,28	810,00	16,00
	PZ 04	744.358,78	8.198.538,46	850,00	70,00
	PZ 05	744.342,52	8.198.587,76	830,00	51,00
	PZ 06	744.326,27	8.198.637,30	810,00	32,00
	PZ 07	744.515,84	8.198.589,24	850,00	24,00
	PZ 08	744.499,70	8.198.638,79	830,00	11,00
Indicador de Nível D'água (INA)	INA-01	744.248,02	8.198.501,73	850,00	32,00
	INA-02	744.232,04	8.198.551,30	830,00	21,00
	INA-03	744.215,45	8.198.601,21	810,00	11,00
	INA-04	744.346,46	8.198.534,39	850,00	66,00
	INA-05	744.330,15	8.198.583,81	830,00	47,00
	INA-06	744.313,95	8.198.633,23	810,00	28,00
	INA-07	744.503,47	8.198.585,28	850,00	20,00
	INA-08	744.487,34	8.198.634,84	830,00	7,00
Marco Topográfico (MT)	MT-01	744.254,33	8.198.503,85	850,00	-
	MT-02	744.238,35	8.198.553,43	830,00	-
	MT-03	744.221,76	8.198.603,33	810,00	-
	MT-04	744.352,76	8.198.536,52	850,00	-
	MT-05	744.336,51	8.198.585,82	830,00	-
	MT-06	744.320,26	8.198.635,35	810,00	-
	MT-07	744.509,83	8.198.587,29	850,00	-
	MT-08	744.493,69	8.198.636,85	830,00	-

O desenho nº MINA_BLC8007-1010-O-29 apresenta a localização da instrumentação prevista com suas respectivas coordenadas e profundidades além das seções típicas dos instrumentos.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 54/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

11.0 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO E ENSAIOS

Para subsidiar os estudos dos projetos básico e executivo da Barragem Industrial será proposta uma campanha de investigações geológico-geotécnicas. A partir desta será possível caracterizar a fundação da área de implantação da barragem e também das possíveis áreas de empréstimo.

Com os resultados será possível validar os parâmetros de resistência adotados nas análises de estabilidade.

12.0 QUANTITATIVOS

A Planilha de Quantidades elaborada para as estruturas de projeto encontra-se nos documentos MINA_BLC8007-1010-G-PL-03 e MINA_BLC8007-1010-G-PL-04.

13.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do presente documento foram apresentados os principais estudos e considerações realizadas para a elaboração do projeto em nível conceitual da Barragem Industrial. Esses estudos partiram de critérios e premissas estabelecidas pela SAM, de estudos anteriormente desenvolvidos pela WALM e por informações complementares obtidas por meio de fontes bibliográficas.

Assim, com base nas referidas informações, foram desenvolvidos estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, que resultaram nos dimensionamentos das seguintes estruturas: maciço, sistema de drenagem interna, drenagem superficial, e sistema extravasor. Além disso, foi apresentado um plano de monitoramento para garantir a manutenção e segurança da barragem ao longo de sua vida útil.

A realização de sondagens e ensaios de campo, bem como ensaios de laboratório para os materiais de fundação, de empréstimo serão de grande importância para determinação dos perfis geológico-geotécnicos e dos parâmetros de resistência, os quais subsidiarão os estudos de estabilidade nas próximas etapas de projeto. A partir desses estudos será possível validar a geometria definida para o arranjo e melhor detalhar os dimensionamentos.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 55/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

Por fim, cabe salientar que os dimensionamentos apresentados neste relatório são preliminares e deverão ser revisados e detalhados nas próximas etapas do projeto, podendo inclusive sofrer alterações caso haja mudança nas premissas. Do mesmo modo, os quantitativos apresentados também são passíveis de refinamento e alteração ao longo das próximas fases.

A Tabela 13.1 apresenta a Ficha do Projeto.

Tabela 13.1 – Ficha do Projeto

Principais Características	
El. da Crista (m)	860,00
Altura Máxima (m)	82,00
Material do maciço	Solo compactado
Desnível entre bermas (m)	10,00
Largura da Crista (m)	10,00
Largura das Bermas (m)	6,00
Inclinação dos taludes entre bermas	2H:1V
Volume de Aterro (m³)	2.640.000,00
Capacidade de Reservatório (m³)	19.320.000,00

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-30</p>	<p>Folha 56/65</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0030</p>	<p>Revisão 02</p>	

14.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 13028:2017 - Mineração - Elaboração e Apresentação de Projeto de Barragens para Disposição de Rejeitos, Contenção de Sedimentos e Reservação de Água – Requisitos, Rio de Janeiro RJ, 2017.

NBR 9653: 2018 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas”. Rio de Janeiro RJ, 2018.

ASSUMPCAO, M. & DIAS NETO, C. M. “Sismicidade e Estrutura da Terra Solida”, in W. Teixeira; C. M. Toledo; T. R. Fairchild & F. Taioli. Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo, 2000.

ASSUMPÇÃO, M. & PIRCHINER, M & DOURADO, J.C. & Barros, L. V., 2016. “Terremotos no Brasil: Preparando-se para Eventos Raros”. Boletim 96, 25-29, Sociedade Brasileira de Geofísica, ISSN 2177-9090.

DAY, R. W., 2002, Geotechnical Earthquake Engineering Handbook. 1 ed. New York: McGraw-Hill Professional.

DUNCAN, J. M.; WRIGHT, S. G., 2005, Soil Strength and Slope Stability. 1 ed. Hoboken: John Wiley & Sons.

KRAMER, S. L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering. 1 ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 57/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

APÊNDICE A

ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-30

Folha
58/65

WBH28-17-SAM-RTE-0030

Revisão
02

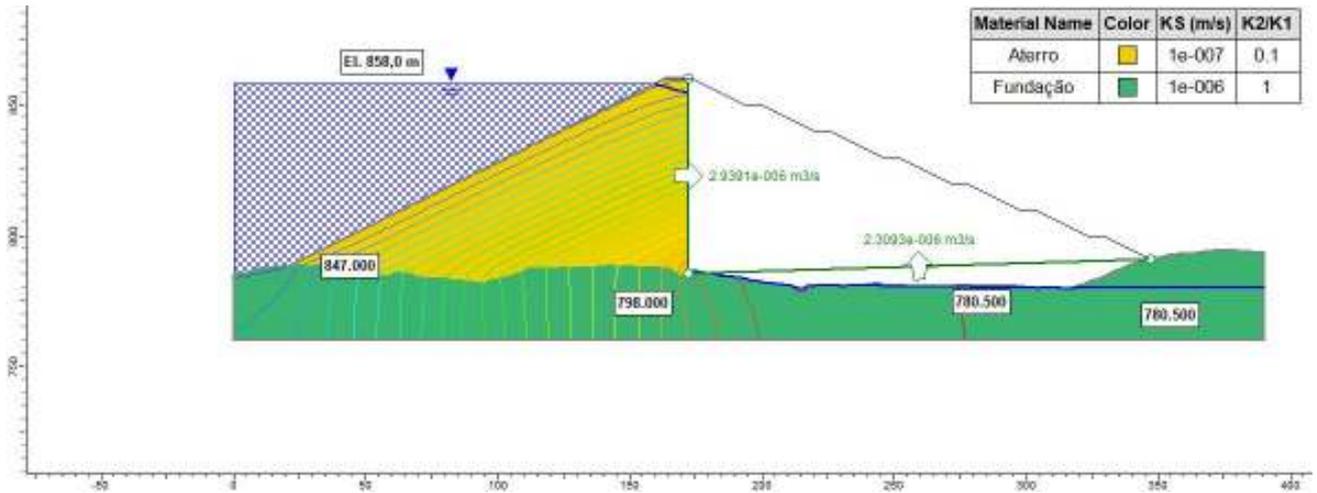


Figura A.1 – Análise de Percolação para a Condição Normal – Seção Central.

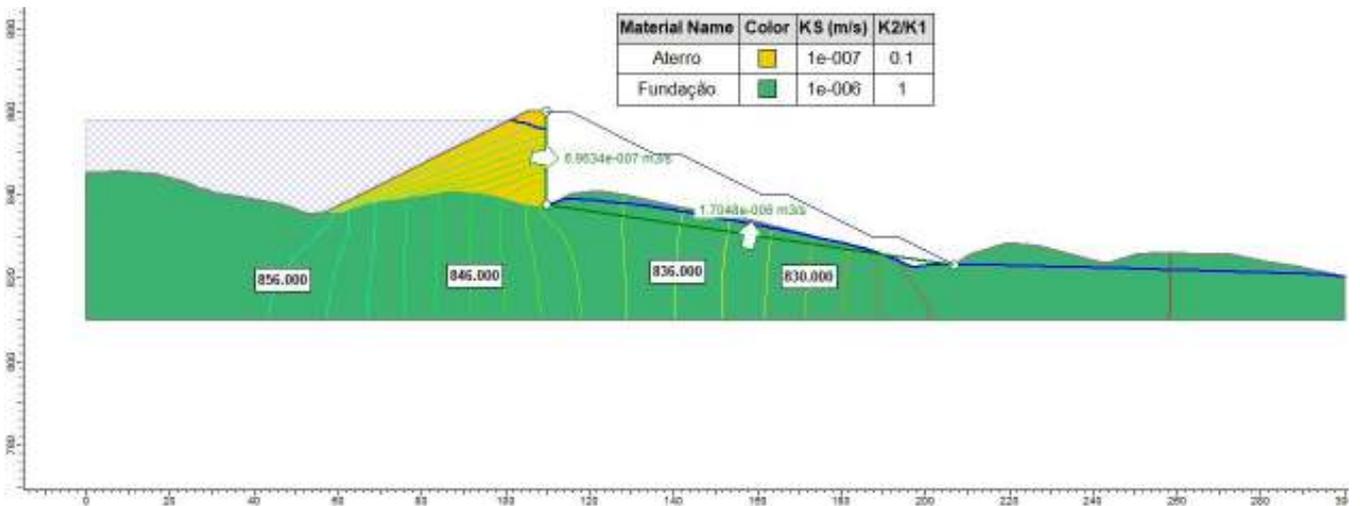


Figura A.2 – Análise de Percolação para a Condição Normal – Ombreira Direita.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-30

Folha
59/65

WBH28-17-SAM-RTE-0030

Revisão
02

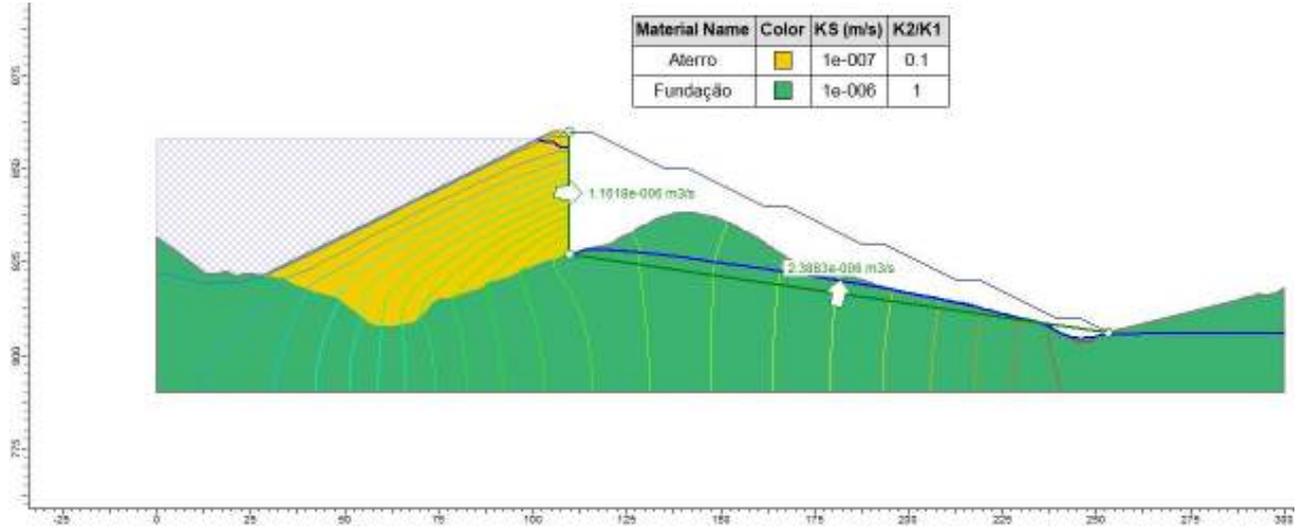


Figura A.3 – Análise de Percolação para a Condição Normal – Ombreira Esquerda.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 60/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

APÊNDICE B

ANÁLISE DE ESTABILIDADE

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-30

Folha
61/65

WBH28-17-SAM-RTE-0030

Revisão
02

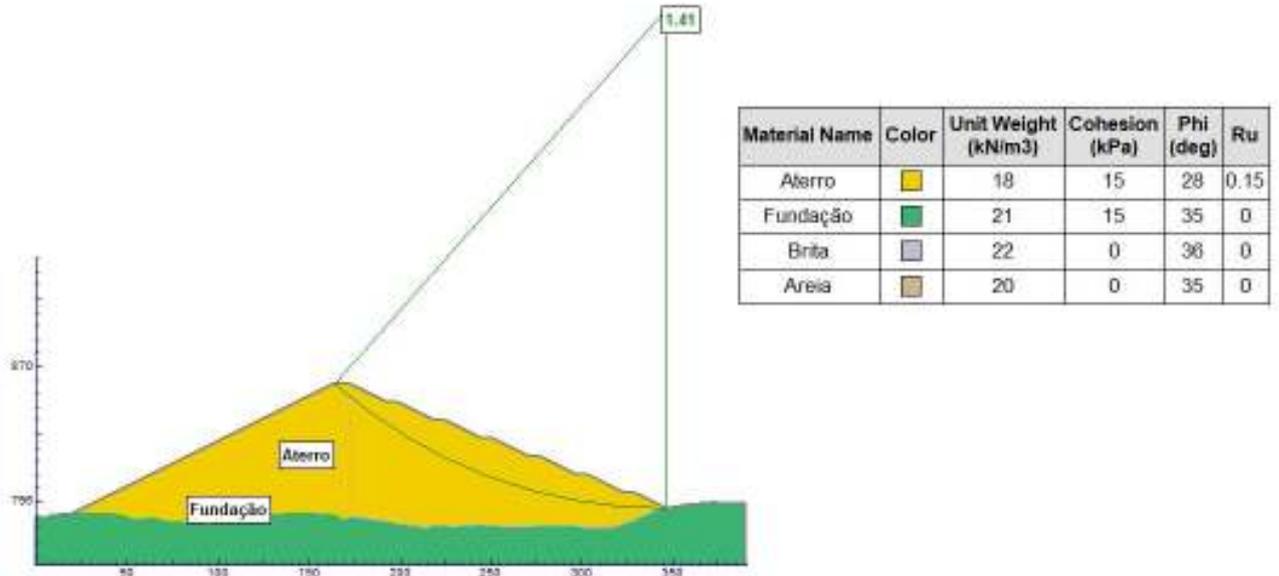


Figura B 1 – Análise de Estabilidade – Seção A-A' - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Jusante

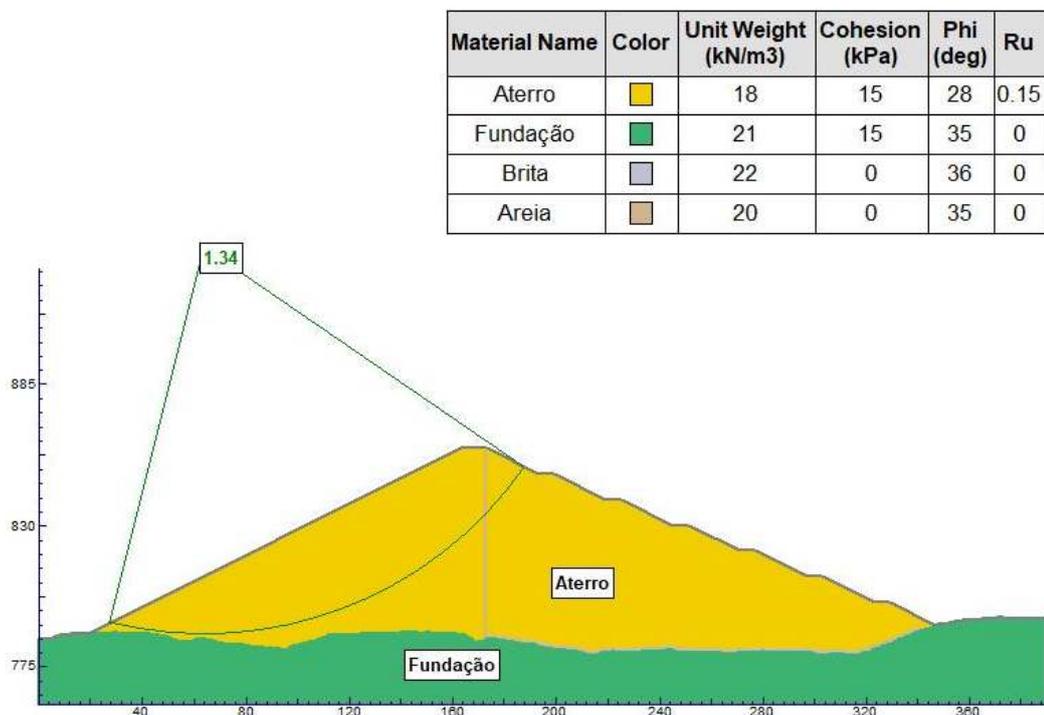


Figura B 2 – Análise de Estabilidade – Seção A-A' - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Montante

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-30

Folha
62/65

WBH28-17-SAM-RTE-0030

Revisão
02

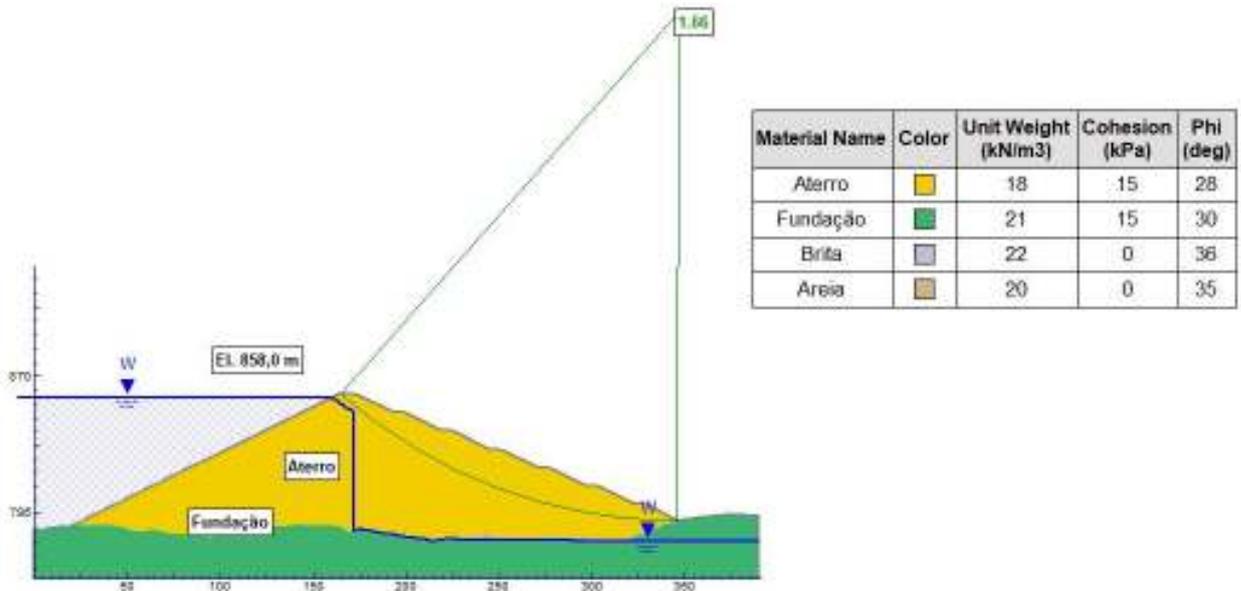


Figura B 3 – Análise de Estabilidade – Seção A-A' - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

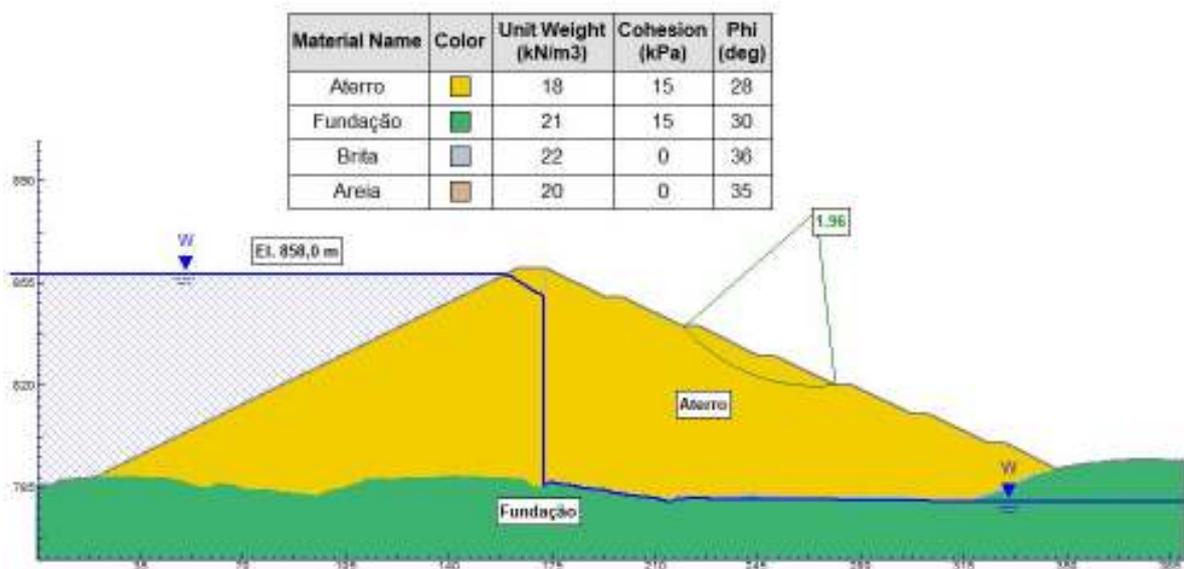


Figura B 4 – Análise de Estabilidade – Seção A-A' - Condição Normal – N.A Operacional - Talude Entre Bermas

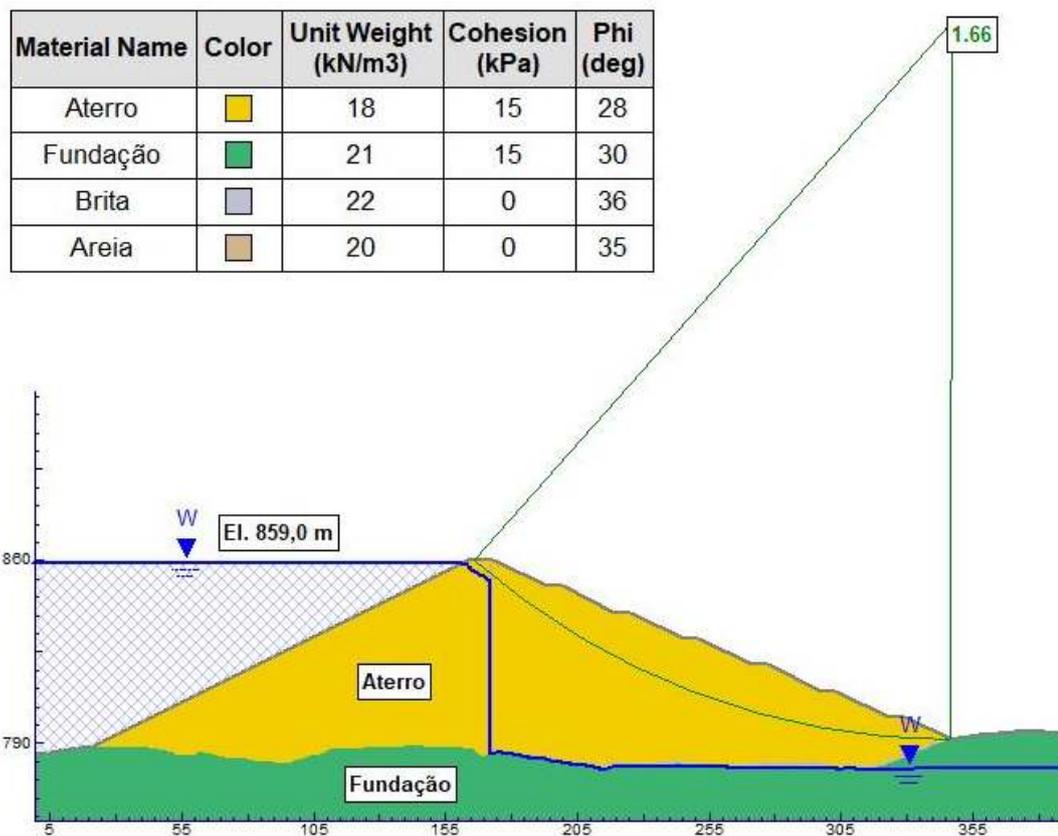


Figura B 5 – Análise de Estabilidade – Seção A-A' - Condição Normal – N.A Max Maximorum

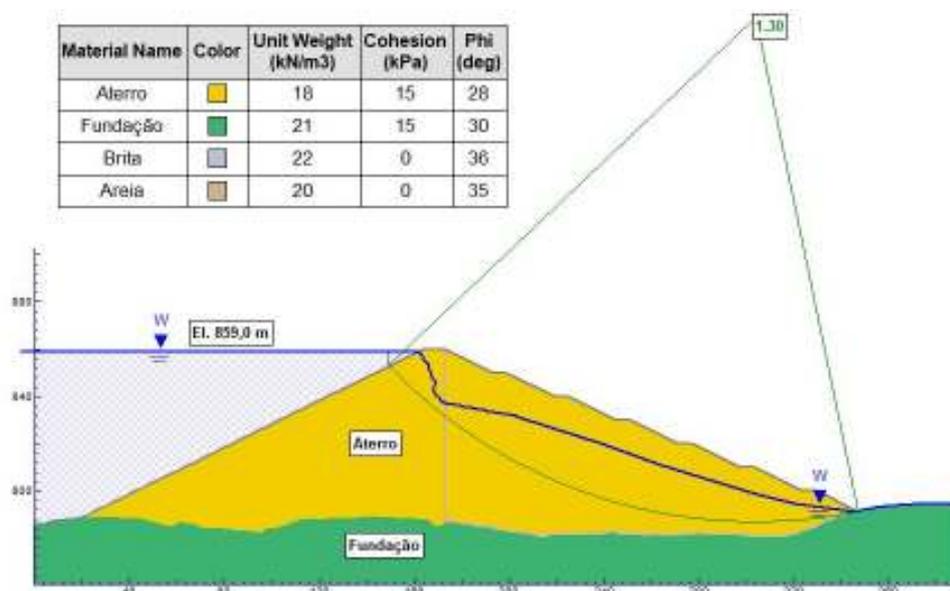


Figura B 6 – Análise de Estabilidade – Seção A-A' - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-30	Folha 64/65	
	WBH28-17-SAM-RTE-0030	Revisão 02	

APÊNDICE C

ANÁLISE SÍSMICA

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-30

Folha
65/65

WBH28-17-SAM-RTE-0030

Revisão
02

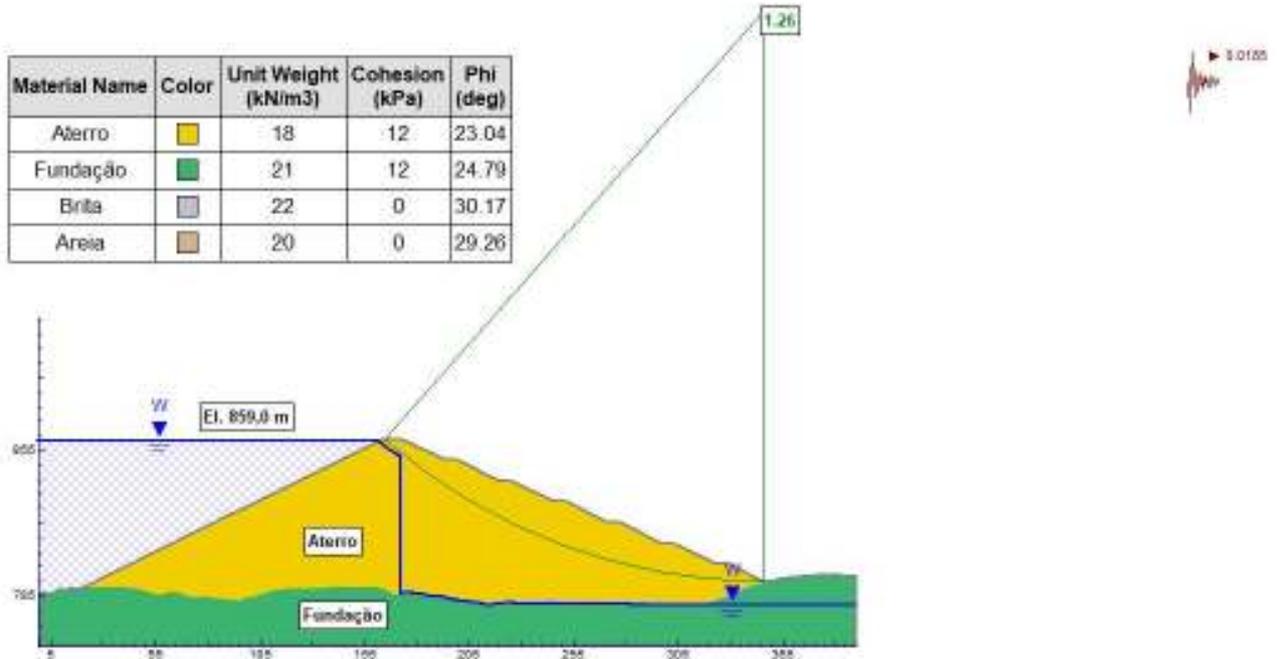


Figura C 1 – Análise Sísmica Natural – Seção A-A' – N.A Max Maximorum – Talude de Jusante

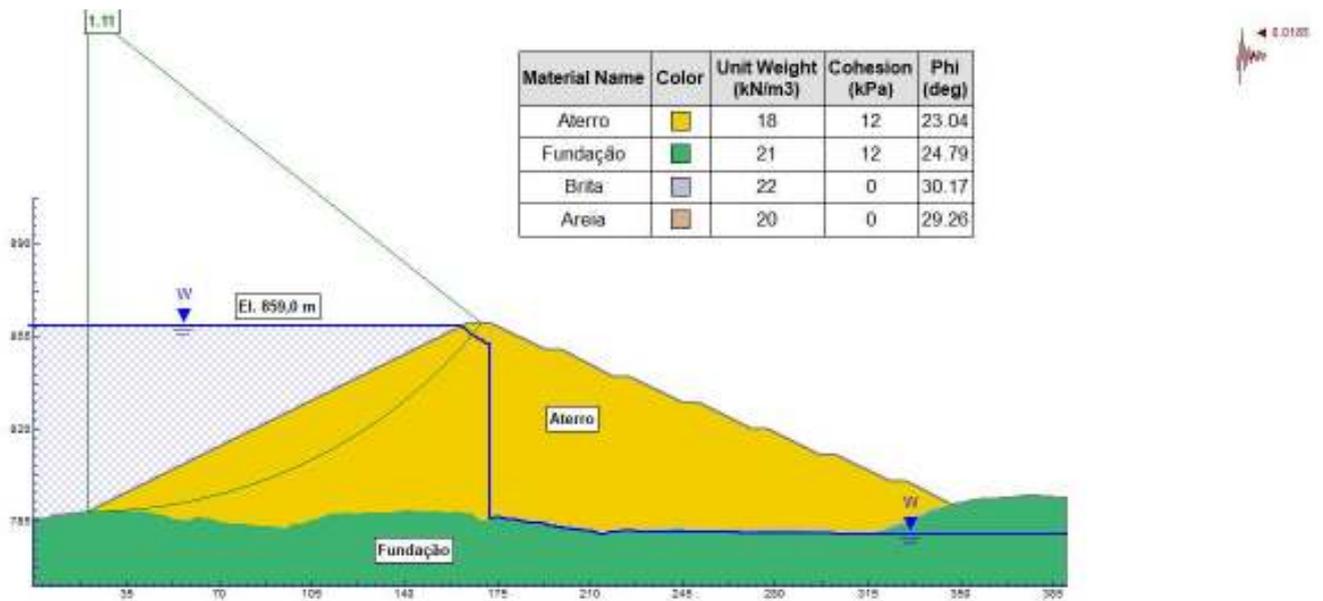


Figura C 2 – Análise Sísmica Natural – Seção A-A' - N.A Max Maximorum – Talude de Montante