

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 1/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

RELATÓRIO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

DISPOSIÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A
(PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO)

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 3/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

SUMÁRIO

RESUMO	5
1.0 INTRODUÇÃO	6
2.0 OBJETIVO.....	6
3.0 INFORMAÇÕES BÁSICAS	7
3.1 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	7
3.2 TOPOGRAFIA E IMAGEAMENTO	7
4.0 DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	8
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	8
4.2 ARRANJO GERAL	11
4.3 CURVA COTA-VOLUME DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM 1	12
4.4 PARÂMETROS BÁSICOS DOS REJEITOS ARMAZENADOS	21
4.5 BARRAGEM DO RIO VACARIA.....	23
4.5.1 Curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria.....	23
4.5.2 Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria.....	24
5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS.....	25
5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA	25
5.2 CENÁRIO DE SIMULAÇÃO	25
5.3 HIDROGRAMAS DE RUPTURA	26
5.3.1 Hipóteses de Ruptura e Modo de Falha	26
5.3.2 Definição do Volume de Material Mobilizado.....	26
5.3.3 Parâmetros da Brecha	27
5.3.4 Desenvolvimento da Brecha e do Hidrograma de Ruptura	28
5.4 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	28
5.4.1 Descrição do Trecho de Propagação	28
5.4.2 Parâmetros de Resistência.....	29
5.4.3 Condições Iniciais e de Contorno	29
5.4.4 Definição do Critério de Parada.....	29
5.4.5 Zona de autossalvamento	34
5.4.6 Modelo Matemático-Computacional	34
5.4.7 Modelo Matemático-Computacional	35
5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO.....	35

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 4/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

5.5.1	Seções Transversais de Referência	35
5.5.2	Parâmetros de Inundação Mapeados.....	37
6.0	RESULTADOS	37
6.1	HIDROGRAMAS DE RUPTURA	37
6.2	PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	43
6.3	REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA	62
6.4	DESCRIÇÃO RESUMIDA DO POTENCIAL DE INUNDAÇÃO	62
6.5	MAPAS DE INUNDAÇÃO.....	62
7.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
8.0	REFERÊNCIAS.....	66
9.0	APÊNDICES.....	67

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15		Folha 5/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015		Revisão 03

RESUMO

São apresentadas neste relatório as informações consideradas para os estudos hidrológicos e hidráulicos associados à ruptura hipotética da Barragem 1, bem como as premissas utilizadas, o cenário de análise e os resultados encontrados.

De acordo com os resultados apresentados no item 6.0 do presente relatório, podem ser elencadas as seguintes constatações:

- Para a Barragem 1 adotou-se a hipótese de ruptura considerando-se o nível de água como no NA normal da barragem, para os dois cenários de ruptura: barragem na condição inicial com a cava no ano 7 e na condição final com a cava no ano 18;
- De acordo com a propagação dos hidrogramas de ruptura da Barragem 1 pelo vale a jusante, tanto para o cenário inicial, quanto para o cenário final, verificou-se que houve galgamento da barragem do Rio Vacaria, localizada 41,0 km (em relação ao talvegue principal) a jusante da Barragem 1.
- Na avaliação da propagação do hidrograma de ruptura da Barragem 1 pelo vale a jusante, verificou-se que no Cenário Final a mancha se propaga por aproximadamente 399 km a jusante da barragem e no Cenário Inicial aproximadamente 347 km.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 6/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

1.0 INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentado o estudo de ruptura hipotética da Barragem 1, de propriedade da empresa Sul Americana de Metais S.A. (SAM), tendo como foco a caracterização da propagação da onda de cheia e delimitação das áreas potencialmente inundáveis à jusante.

2.0 OBJETIVO

Os objetivos desse relatório técnico do estudo de ruptura hipotética da Barragem 1 consistem em:

- Caracterizar a área de estudo com a apresentação da região a jusante da barragem;
- Apresentar a metodologia adotada;
- Definir os cenários de ruptura hipotética da barragem;
- Determinar os hidrogramas de ruptura da barragem;
- Apresentar a propagação dos hidrogramas defluentes da barragem ao longo da região a jusante; e
- Apresentar o mapeamento das áreas potencialmente inundáveis a jusante da barragem.

Assim, para melhor compreensão, além deste item introdutório, este documento está estruturado da seguinte maneira:

- **Item 3:** no qual são apresentados os dados básicos utilizados para a elaboração deste estudo;
- **Item 4:** no qual é apresentada a caracterização da área do empreendimento;
- **Item 5:** no qual são apresentadas as metodologias, premissas e critérios utilizados;
- **Item 6:** no qual são apresentados os resultados das modelagens;
- **Item 7:** no qual são feitas as conclusões e recomendações finais;
- **Item 8:** no qual são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração dos estudos; e
- **Item 9:** no qual são apresentados os apêndices, contendo os desenhos da mancha de inundação.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 7/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

3.0 INFORMAÇÕES BÁSICAS

3.1 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

A seguir são apresentados uma lista com os dados que subsidiaram a elaboração do presente estudo.

- MINA_BLC8007-1010-O-31-00 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia – Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem Rejeitos 1 – Arranjo Geral – Planta e Seção Típica. Elaborado pela WALM Engenharia em 20/07/2018;
- MINA_BLC8007-1010-O-35-00 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia – Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem Rejeitos 1 – Sistema Extravasador – Planta, Perfil e Detalhes Típicos. Elaborado pela WALM Engenharia em 27/06/2018;
- BSU-C-BV-RE-009-3 – Barragem do Rio Vacaria – Estudos Complementares e Esclarecimentos Solicitados sobre o Projeto Conceitual – elaborado pela DAM Engenharia em dezembro de 2015;
- BSU-C-BV-DE-401-12 – Barragem do Rio Vacaria – Projeto Conceitual – Curvas CotaxÁreaxVolume do Reservatório – 2ª Etapa na Normal 634 – Planta e Gráfico – Fl. 02/02.
- MINA_BLC8007-1010-G-RE-31 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem 1 – Relatório técnico
- Sistema de Fases de Lavra e Sequenciamento – Documento fornecido pela SAM em 29/05/2018.

3.2 TOPOGRAFIA E IMAGEAMENTO

A topografia utilizada no estudo foi definida por curvas de nível, obtidas por meio de aerolevantamento por perfilhamento a laser (ALS - *Airborne LASER Scanning*), fornecido pela SAM na porção da planta, em resolução de metro em metro. Foi necessário realizar o complemento da topografia, fora da área levantada, no caso um MDE (Modelo Digital de Elevação) oriundo do projeto Topodata que é elaborado a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponível no site <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. O MDE original foi trabalhado com o objetivo de dar maior consistência hidrológica ao terreno, retirando depressões espúrias e representando o traçado do talvegue conforme imagens de satélite, além de viabilizar a sua união com a topografia disponibilizada pela SAM. Foram determinados dois MDTs (Modelo Digital de Terreno) com cinco metros de resolução distintos, o primeiro apresentando a cava no ano 7 e o segundo apresentando a cava no ano 18. A Figura 3.1 ilustra um dos MDTs utilizado no estudo.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 8/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

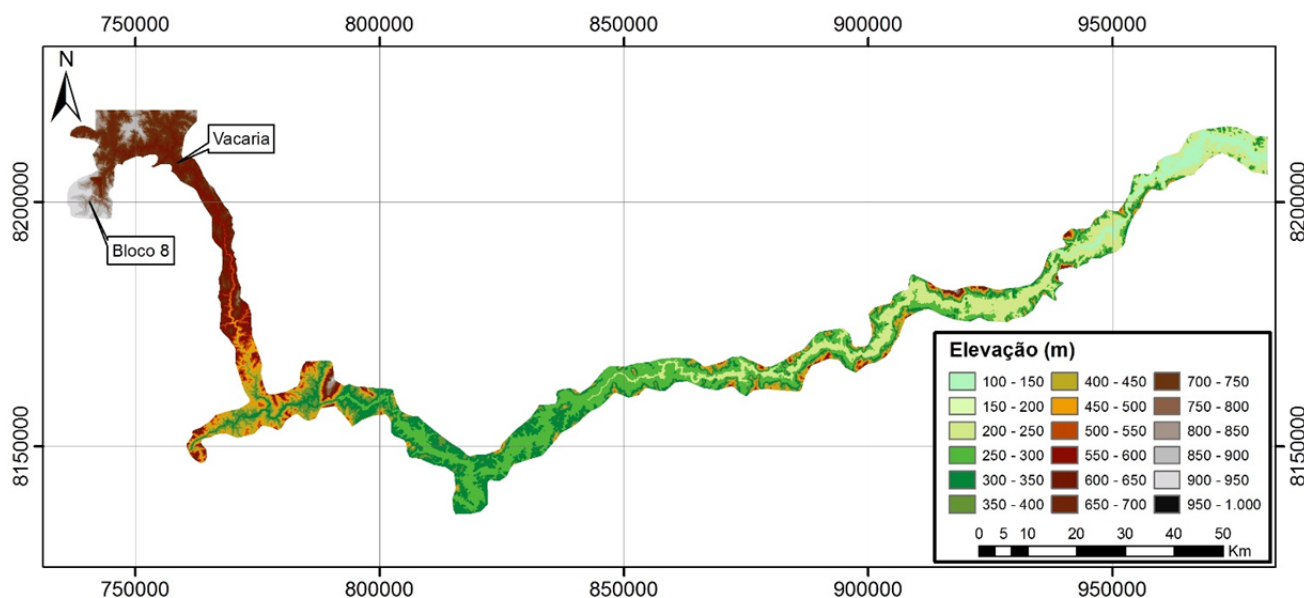


Figura 3.1 – Topografia utilizada no estudo.

4.0 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

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 à área do Projeto do Bloco 8 é realizado pela estrada vicinal não pavimentada, conforme pode ser observado na Figura 4.1.

O Projeto Bloco 8 conta com 5 barramentos, sendo três barragens de água (barragem Industrial, barragem do Vale e barragem do Rio Vacaria) e duas barragens de rejeito (Barragem 1 e Barragem 2). A Figura 4.2 ilustra o arranjo geral do bloco 8.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
9/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

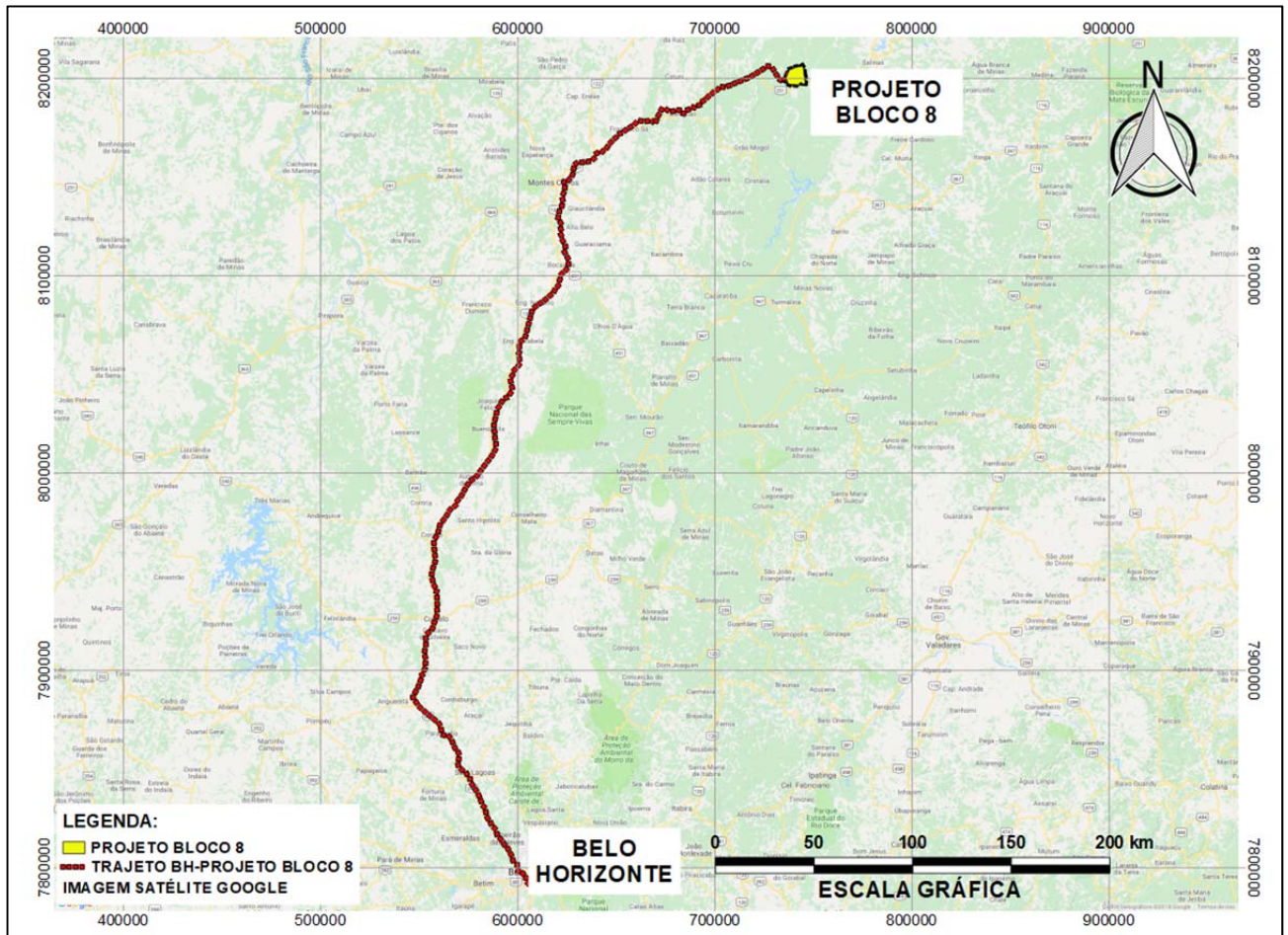


Figura 4.1 – Barragem 1 – Acessos.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
10/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

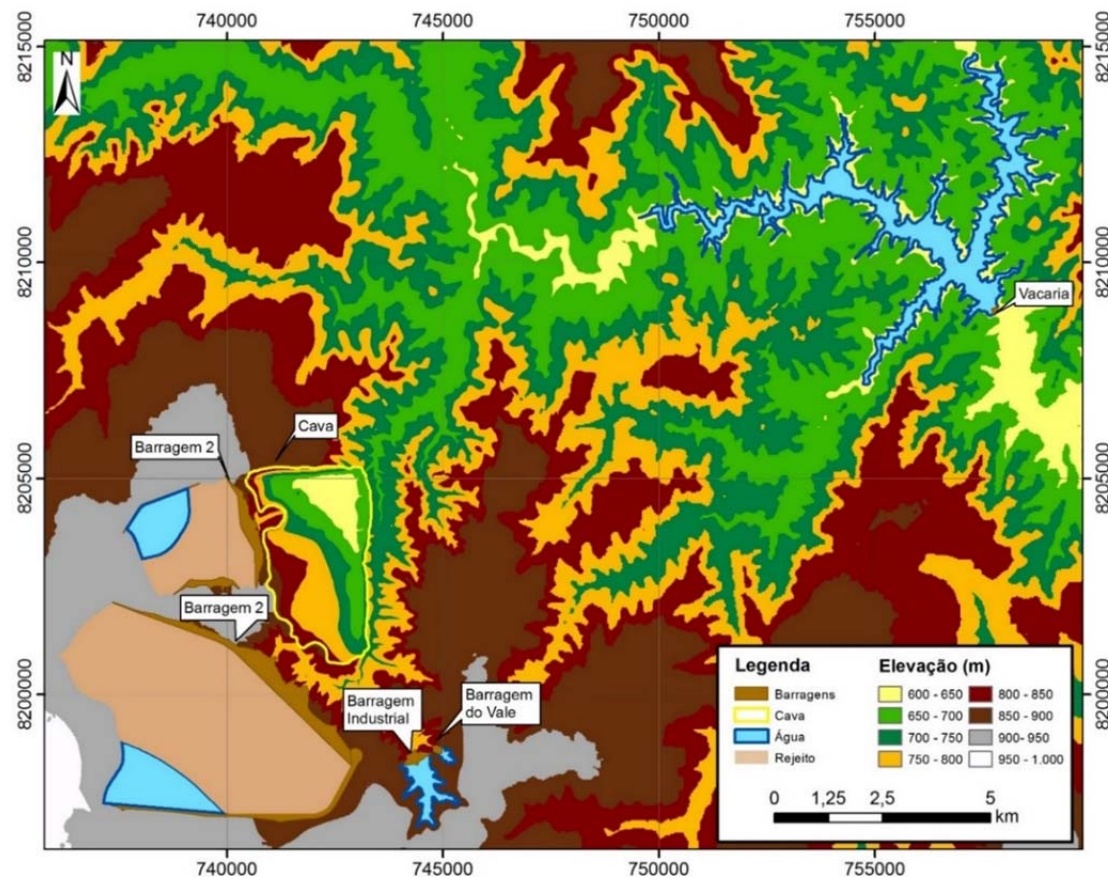


Figura 4.2 – Arranjo geral do Bloco 8 e topografia utilizada no Cenário Final.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 11/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

4.2 ARRANJO GERAL

A Barragem 1 possui como finalidade armazenar o rejeito proveniente da extração do minério de ferro da cava da planta da SAM. A Barragem 1 será instalada nas coordenadas 740.996 E e 8.200.820 N.

O dique inicial da Barragem 1 tem aproximadamente 120,0 m de altura e crista com cerca de 5,2 km de comprimento e elevação El.890,0 m. Destaca-se que o maciço será alteado até a elevação 935,0 m, alcançando 165,0 m de altura. As etapas consideradas no estudo de ruptura hipotética da Barragem 1 são a ruptura do dique inicial El. 890,0 m (Cenário inicial) e a ruptura da barragem após o alteamento El. 935,0 m (Cenário final), no estado operacional de 18 anos.

As principais características da estrutura estão resumidas na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Dados Gerais da Barragem 1.

Dados Gerais		
Localização	Latitude	8.200.820
	Longitude	740.996
Finalidade	Armazenamento de rejeito	
Cota da Crista (m)	Inicial	890
	Final	935
NA normal (m)	Inicial	887
	Final	932
Altura Máxima da Barragem (m)	Inicial	120
	Final	165
Comprimento da Crista da Barragem (km)	Inicial	5,2 km
	Final	7,0 km
Tipo de Seção	Homogênea	
Estrutura Vertente	Extravasor trapezoidal concebido em gabião colchão, com base de 9,0 m de largura, altura de 3,0 m e taludes com inclinação de 1V:2H, tendo sua soleira na El.887,00m no cenário inicial e 932,00 m no cenário final	

A área a jusante da Barragem 1 delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo córrego Lamarão, pelo rio Vacaria e rio Jequitinhonha, pertencentes a bacia federal do Jequitinhonha.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 12/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

Como pode ser visualizado na Figura 4.2, aproximadamente 41,0 km (em relação ao talvegue principal) a jusante da Barragem 1, encontra-se o reservatório de água do Rio Vacaria. Dessa forma, a barragem do Rio Vacaria será englobada nos estudos de ruptura hipotética para ser considerada a possibilidade de uma ruptura em cascata conforme preconiza o parágrafo 2 do Artigo 6 da Portaria 70.389/2017.

4.3 CURVA COTA-VOLUME DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM 1

Nas Figura 4.3 e Figura 4.4 – Curva cota x volume da Barragem 1 no estado final Figura 4.4 e nas Tabela 4.2 e Tabela 4.3 são apresentadas a curva cota-volume da Barragem 1 no estado inicial e final nas suas formas gráfica e tabular, respectivamente.

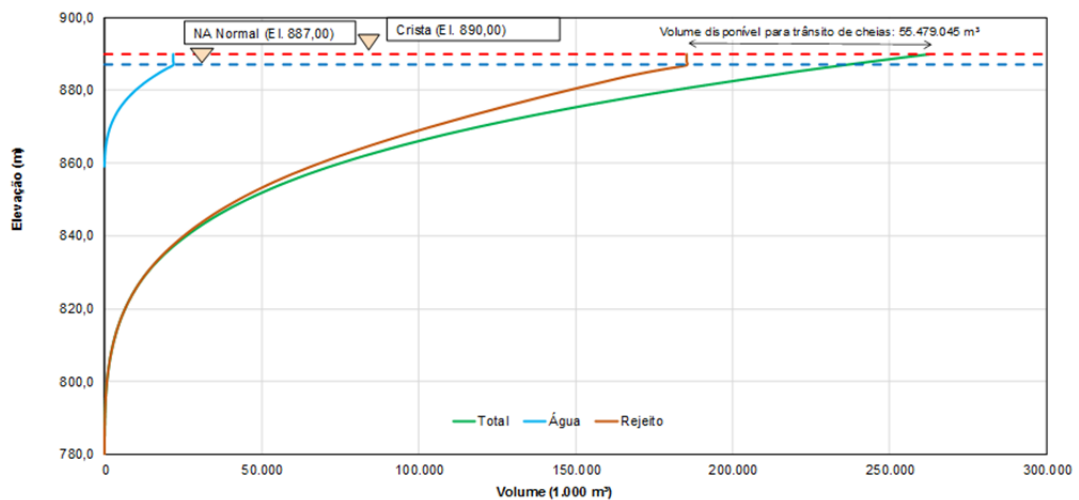


Figura 4.3 – Curva cota x volume da Barragem 1 no estado inicial

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
 (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
13/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
 03

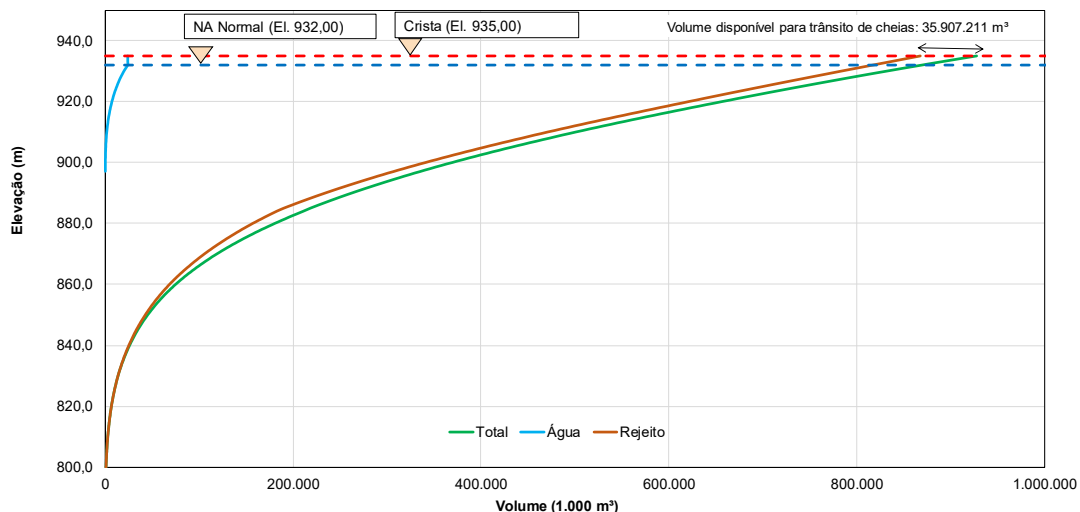


Figura 4.4 – Curva cota x volume da Barragem 1 no estado final

Tabela 4.2 – Curva cota x volume da Barragem 1 no estado inicial

Cota (m)	Volume (1.000 m³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
770,00	0,00	0,00	0,00	0,00
771,00	0,00	0,00	0,00	0,00
782,00	2,65	0,00	0,00	2,65
783,00	5,43	0,00	0,00	5,43
784,00	10,01	0,00	0,00	10,01
785,00	17,56	0,00	0,00	17,56
786,00	27,94	0,00	0,00	27,94
787,00	41,08	0,00	0,00	41,08
788,00	58,63	0,00	0,00	58,63
789,00	81,37	0,00	0,00	81,37
790,00	109,16	0,00	0,00	109,16
791,00	142,61	0,00	0,00	142,61
792,00	181,97	0,00	0,00	181,97
793,00	227,41	0,00	0,00	227,41
794,00	279,57	0,00	0,00	279,57
795,00	339,18	0,00	0,00	339,18
796,00	407,38	0,00	0,00	407,38
797,00	484,43	0,00	0,00	484,43
798,00	570,55	0,00	0,00	570,55
799,00	666,91	0,00	0,00	666,91

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
14/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
800,00	774,11	0,00	0,00	774,11
801,00	892,50	0,00	0,00	892,50
802,00	1024,36	0,00	0,00	1024,36
803,00	1171,21	0,00	0,00	1171,21
804,00	1332,37	0,00	0,00	1332,37
805,00	1507,77	0,00	0,00	1507,77
806,00	1697,18	0,00	0,00	1697,18
807,00	1901,91	0,00	0,00	1901,91
808,00	2124,28	0,00	0,00	2124,28
809,00	2365,19	0,00	0,00	2365,19
810,00	2625,34	0,00	0,00	2625,34
811,00	2905,77	0,00	0,00	2905,77
812,00	3207,91	0,00	0,00	3207,91
813,00	3533,17	0,00	0,00	3533,17
814,00	3882,13	0,00	0,00	3882,13
815,00	4254,95	0,00	0,00	4254,95
816,00	4652,74	0,00	0,00	4652,74
817,00	5077,12	0,00	0,00	5077,12
818,00	5529,44	0,00	0,00	5529,44
819,00	6011,09	0,00	0,00	6011,09
820,00	6522,31	0,00	0,00	6522,31
821,00	7064,03	0,00	0,00	7064,03
822,00	7637,66	0,00	0,00	7637,66
823,00	8243,68	0,00	0,04	8243,72
824,00	8883,23	0,00	0,21	8883,44
825,00	9558,01	0,00	0,57	9558,58
826,00	10270,57	0,00	4,69	10275,26
827,00	11023,10	0,00	13,55	11036,64
828,00	11817,00	0,00	27,97	11844,97
829,00	12654,70	0,00	48,57	12703,27
830,00	13539,15	0,00	76,09	13615,24
831,00	14473,11	0,00	112,10	14585,20
832,00	15456,06	0,00	156,24	15612,30
833,00	16486,57	0,00	207,50	16694,06
834,00	17565,65	0,00	266,65	17832,30

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
15/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
835,00	18695,54	0,00	335,15	19030,69
836,00	19877,75	0,00	413,02	20290,78
837,00	21111,62	0,00	499,21	21610,83
838,00	22397,57	0,00	593,62	22991,19
839,00	23737,21	0,00	696,62	24433,84
840,00	25131,73	0,00	808,35	25940,08
841,00	26583,98	0,00	929,03	27513,00
842,00	28095,09	0,00	1059,02	29154,11
843,00	29663,78	0,00	1200,53	30864,31
844,00	31290,37	0,00	1356,24	32646,60
845,00	32986,36	0,00	1526,82	34513,17
846,00	34759,17	0,00	1713,21	36472,38
847,00	36604,75	0,00	1916,70	38521,44
848,00	38525,81	0,00	2137,59	40663,39
849,00	40527,11	0,00	2375,96	42903,07
850,00	42608,49	0,00	2632,72	45241,22
851,00	44770,05	0,00	2909,77	47679,81
852,00	47014,69	0,00	3208,57	50223,26
853,00	49345,21	0,00	3529,39	52874,60
854,00	51767,07	0,00	3872,34	55639,41
855,00	54285,36	0,00	4237,89	58523,25
856,00	56903,65	0,00	4627,38	61531,03
857,00	59624,73	0,00	5043,60	64668,33
858,00	62451,79	0,00	5488,63	67940,41
859,00	65386,12	2,60	5963,67	71352,39
860,00	68421,86	17,37	6469,28	74908,52
861,00	71551,45	53,88	7004,59	78609,91
862,00	74776,82	113,79	7569,51	82460,11
863,00	78099,08	198,76	8163,92	86461,76
864,00	81512,66	313,16	8788,02	90613,84
865,00	85014,75	461,54	9443,36	94919,66
866,00	88604,52	647,62	10130,92	99383,05
867,00	92280,37	874,97	10851,06	104006,40
868,00	96042,19	1147,23	11604,01	108793,44
869,00	99891,33	1469,17	12390,50	113751,00

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
16/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
870,00	103827,76	1845,79	13211,10	118884,66
871,00	107850,17	2281,54	14066,79	124198,50
872,00	111953,47	2781,44	14958,86	129693,77
873,00	116129,20	3351,66	15888,20	135369,06
874,00	120372,23	3997,84	16856,06	141226,14
875,00	124682,70	4724,29	17864,19	147271,18
876,00	129061,76	5535,56	18913,58	153510,90
877,00	133508,43	6436,98	20004,45	159949,85
878,00	138020,16	7434,27	21137,36	166591,79
879,00	142594,87	8533,23	22313,03	173441,12
880,00	147285,32	9739,83	23427,79	180452,94
881,00	152093,26	11059,59	24575,76	187728,61
882,00	156963,42	12498,35	25757,23	195219,00
883,00	161890,63	14063,03	26973,05	202926,71
884,00	166870,86	15759,26	28224,68	210854,79
885,00	172542,51	17591,44	28224,68	218358,62
886,00	178947,99	19564,62	28224,68	226737,29
887,00	185438,90	21685,19	28224,68	235348,76
888,00	185438,90	21685,19	37070,69	244194,78
889,00	185438,90	21685,19	46154,50	253278,58
890,00	185438,90	21685,19	55479,05	262603,13

Tabela 4.3 – Curva cota x volume da Barragem 1 no estado final

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
770,00	0,00	0,00	0,00	0,00
771,00	0,00	0,00	0,00	0,00
782,00	2,65	0,00	0,00	2,65
783,00	5,43	0,00	0,00	5,43
784,00	10,01	0,00	0,00	10,01
785,00	17,56	0,00	0,00	17,56
786,00	27,94	0,00	0,00	27,94
787,00	41,08	0,00	0,00	41,08
788,00	58,63	0,00	0,00	58,63

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
17/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
789,00	81,37	0,00	0,00	81,37
790,00	109,16	0,00	0,00	109,16
791,00	142,61	0,00	0,00	142,61
792,00	181,97	0,00	0,00	181,97
793,00	227,41	0,00	0,00	227,41
794,00	279,57	0,00	0,00	279,57
795,00	339,18	0,00	0,00	339,18
796,00	407,38	0,00	0,00	407,38
797,00	484,43	0,00	0,00	484,43
798,00	570,55	0,00	0,00	570,55
799,00	666,91	0,00	0,00	666,91
800,00	774,11	0,00	0,00	774,11
801,00	892,50	0,00	0,00	892,50
802,00	1024,36	0,00	0,00	1024,36
803,00	1171,21	0,00	0,00	1171,21
804,00	1332,37	0,00	0,00	1332,37
805,00	1507,77	0,00	0,00	1507,77
806,00	1697,18	0,00	0,00	1697,18
807,00	1901,91	0,00	0,00	1901,91
808,00	2124,28	0,00	0,00	2124,28
809,00	2365,19	0,00	0,00	2365,19
810,00	2625,34	0,00	0,00	2625,34
811,00	2905,77	0,00	0,00	2905,77
812,00	3207,91	0,00	0,00	3207,91
813,00	3533,17	0,00	0,00	3533,17
814,00	3882,13	0,00	0,00	3882,13
815,00	4254,95	0,00	0,00	4254,95
816,00	4652,74	0,00	0,00	4652,74
817,00	5077,12	0,00	0,00	5077,12
818,00	5529,44	0,00	0,00	5529,44
819,00	6011,09	0,00	0,00	6011,09
820,00	6522,31	0,00	0,00	6522,31
821,00	7064,03	0,00	0,00	7064,03
822,00	7637,66	0,00	0,00	7637,66
823,00	8243,68	0,00	0,04	8243,72
824,00	8883,23	0,00	0,21	8883,44

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
18/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
825,00	9558,01	0,00	0,57	9558,58
826,00	10270,57	0,00	4,69	10275,26
827,00	11023,10	0,00	13,55	11036,64
828,00	11817,00	0,00	27,97	11844,97
829,00	12654,70	0,00	48,57	12703,27
830,00	13539,15	0,00	76,09	13615,24
831,00	14473,11	0,00	112,10	14585,20
832,00	15456,06	0,00	156,24	15612,30
833,00	16486,57	0,00	207,50	16694,06
834,00	17565,65	0,00	266,65	17832,30
835,00	18695,54	0,00	335,15	19030,69
836,00	19877,75	0,00	413,02	20290,78
837,00	21111,62	0,00	499,21	21610,83
838,00	22397,57	0,00	593,62	22991,19
839,00	23737,21	0,00	696,62	24433,84
840,00	25131,73	0,00	808,35	25940,08
841,00	26583,98	0,00	929,03	27513,00
842,00	28095,09	0,00	1059,02	29154,11
843,00	29663,78	0,00	1200,53	30864,31
844,00	31290,37	0,00	1356,24	32646,60
845,00	32986,36	0,00	1526,82	34513,17
846,00	34759,17	0,00	1713,21	36472,38
847,00	36604,75	0,00	1916,70	38521,44
848,00	38525,81	0,00	2137,59	40663,39
849,00	40527,11	0,00	2375,96	42903,07
850,00	42608,49	0,00	2632,72	45241,22
851,00	44770,05	0,00	2909,77	47679,81
852,00	47014,69	0,00	3208,57	50223,26
853,00	49345,21	0,00	3529,39	52874,60
854,00	51767,07	0,00	3872,34	55639,41
855,00	54285,36	0,00	4237,89	58523,25
856,00	56903,65	0,00	4627,38	61531,03
857,00	59624,73	0,00	5043,60	64668,33
858,00	62451,79	0,00	5488,63	67940,41
859,00	65388,72	0,00	5963,67	71352,39
860,00	68439,24	0,00	6469,28	74908,52

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
19/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
861,00	71605,33	0,00	7004,59	78609,91
862,00	74890,61	0,00	7569,51	82460,11
863,00	78297,84	0,00	8163,92	86461,76
864,00	81825,82	0,00	8788,02	90613,84
865,00	85476,29	0,00	9443,36	94919,66
866,00	89252,13	0,00	10130,92	99383,05
867,00	93155,34	0,00	10851,06	104006,40
868,00	97189,43	0,00	11604,01	108793,44
869,00	101360,51	0,00	12390,50	113751,00
870,00	105673,55	0,00	13211,10	118884,66
871,00	110131,71	0,00	14066,79	124198,50
872,00	114734,91	0,00	14958,86	129693,77
873,00	119480,86	0,00	15888,20	135369,06
874,00	124370,08	0,00	16856,06	141226,14
875,00	129406,99	0,00	17864,19	147271,18
876,00	134597,32	0,00	18913,58	153510,90
877,00	139945,41	0,00	20004,45	159949,85
878,00	145454,43	0,00	21137,36	166591,79
879,00	151128,09	0,00	22313,03	173441,12
880,00	157025,15	0,00	23427,79	180452,94
881,00	163152,85	0,00	24575,76	187728,61
882,00	169461,76	0,00	25757,23	195219,00
883,00	175953,66	0,00	26973,05	202926,71
884,00	182630,11	0,00	28224,68	210854,79
885,00	190133,94	0,00	28224,68	218358,62
886,00	198512,61	0,00	28224,68	226737,29
887,00	207124,09	0,00	28224,68	235348,76
888,00	215970,10	0,00	28224,68	244194,78
889,00	225053,91	0,00	28224,68	253278,58
890,00	234378,46	0,00	28224,68	262603,13
891,00	243943,93	0,00	28224,68	272168,61
892,00	253752,02	0,00	28224,68	281976,69
893,00	263802,30	0,00	28224,68	292026,98
894,00	274092,94	0,00	28224,68	302317,62
895,00	284625,03	0,00	28224,68	312849,71
896,00	295401,27	0,00	28224,68	323625,95

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
20/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
897,00	306420,78	3,20	28224,68	334648,65
898,00	317683,33	11,82	28224,68	345919,82
899,00	329187,82	28,86	28224,68	357441,36
900,00	340929,90	57,39	28224,68	369211,97
901,00	352906,36	100,39	28224,68	381231,43
902,00	365115,69	160,66	28224,68	393501,03
903,00	377557,16	240,81	28224,68	406022,64
904,00	390230,83	343,51	28224,68	418799,01
905,00	403140,86	471,40	28224,68	431836,93
906,00	416293,30	627,09	28224,68	445145,06
907,00	429679,86	813,13	28224,68	458717,66
908,00	443288,24	1031,87	28224,68	472544,78
909,00	457112,03	1285,69	28224,68	486622,39
910,00	471142,04	1577,06	28224,68	500943,77
911,00	485372,74	1908,43	28224,68	515505,85
912,00	499799,24	2282,23	28224,68	530306,14
913,00	514417,40	2700,98	28224,68	545343,05
914,00	529227,68	3167,08	28224,68	560619,43
915,00	544243,90	3683,04	28224,68	576151,61
916,00	559423,59	4251,59	28224,68	591899,86
917,00	574709,28	4875,50	28224,68	607809,45
918,00	590100,54	5557,73	28224,68	623882,94
919,00	605598,23	6301,50	28224,68	640124,40
920,00	621205,55	7110,38	28224,68	656540,61
921,00	636925,34	7988,04	28224,68	673138,06
922,00	652759,07	8938,41	28224,68	689922,16
923,00	668707,44	9965,98	28224,68	706898,09
924,00	684770,51	11075,87	28224,68	724071,05
925,00	700947,36	12274,50	28224,68	741446,53
926,00	717236,18	13569,19	28224,68	759030,04
927,00	733633,02	14968,44	28224,68	776826,13
928,00	750131,62	16482,72	28224,68	794839,02
929,00	766726,73	18123,71	28224,68	813075,12
930,00	783413,02	19901,92	28224,68	831539,62
931,00	800186,48	21826,93	28224,68	850238,09
932,00	817043,40	23908,03	28224,68	869176,11

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

 Folha
21/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

 Revisão
 03

Cota (m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
933,00	833981,76	23908,03	30469,35	888359,14
934,00	850894,81	23908,03	32988,79	907791,64
935,00	867659,58	23908,03	35907,21	927474,82

Os croquis apresentados nas Figura 4.5 e Figura 4.6 ilustram os reservatórios considerado no estudo de ruptura hipotética da Barragem 1 no estado inicial e final.

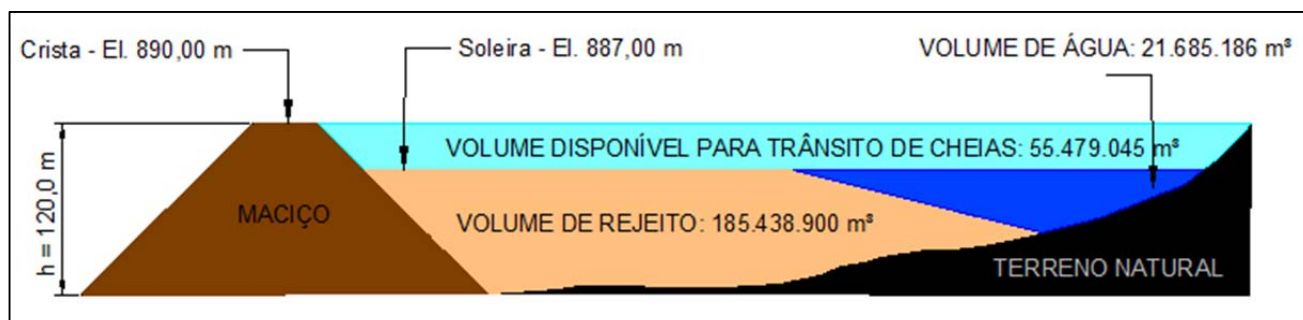


Figura 4.5 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da Barragem 1 no estado inicial (sem escala).

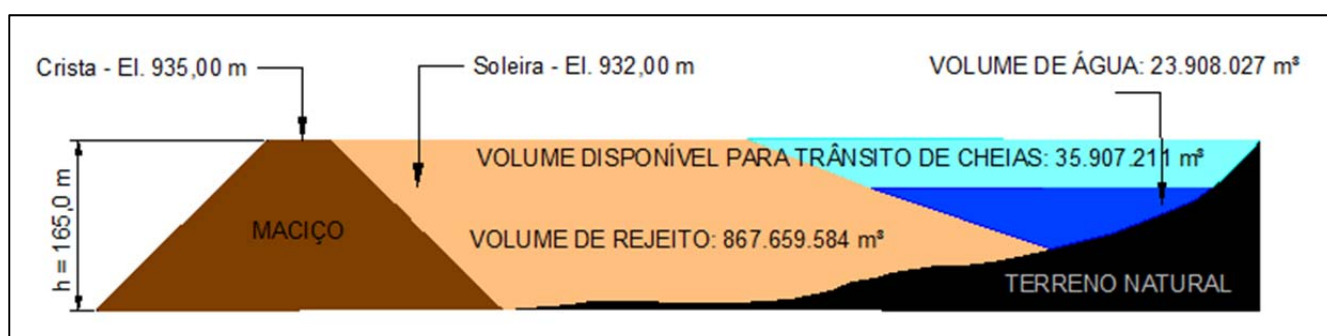


Figura 4.6 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da Barragem 1 no estado final (sem escala).

4.4 PARÂMETROS BÁSICOS DOS REJEITOS ARMAZENADOS

O material sólido que será depositado na Barragem 1, além do rejeito utilizado para o alteamento do maciço é resultado do processo de beneficiamento do minério de ferro, onde são gerados 3 tipos de rejeitos: Rejeito Grosso; Rejeito Fino e Lama. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentadas as características físicas do rejeito, além das características do material do dique inicial do maciço.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 22/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

Tabela 4.4 –Características do Material

	Material	Densidade Aparente Seca (t/m ³)	Peso Específico dos Grãos (t/m ³)
Reservatório	Rejeito Fino + Lama	1,4	2,81
	Rejeito Grosso	1,46	2,78
	Parâmetros Ponderados	1,41	2,8
Maciço	Dique inicial	1,6	1,6
	Alteamentos	1,48	2,78
	Parâmetros Ponderados	1,51	2,47

Tendo posse do volume e das características de cada material, foi possível determinar o volume de água presa existente no mesmo por meio das Equações 4.1.

$$V_{\text{água presa rejeito}} = \frac{M}{\gamma_a} - \frac{M}{\gamma_s}$$

Equação 4.1

Onde:

- V: Volume;
- M: Massa;

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 23/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

- γ_s : Peso específico dos grãos; e
- γ_a : Densidade aparente.

4.5 BARRAGEM DO RIO VACARIA

A barragem do Rio Vacaria será instalada no rio Vacaria nas coordenadas 757.780,705 E e 8.208.904,681 N. Seu maciço será construído em enrocamento com núcleo de argila. A barragem terá 41,0 m de altura, 307,9 m de comprimento, crista na cota 639,0 m e NA normal na cota 634,0 m.

4.5.1 Curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria

Na Figura 4.4 e na Tabela 4.3 são apresentadas a curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria, obtida por meio do arquivo "MINA_BLC8007-1010-O-17-00.dwg", nas suas formas gráfica e tabular, respectivamente.

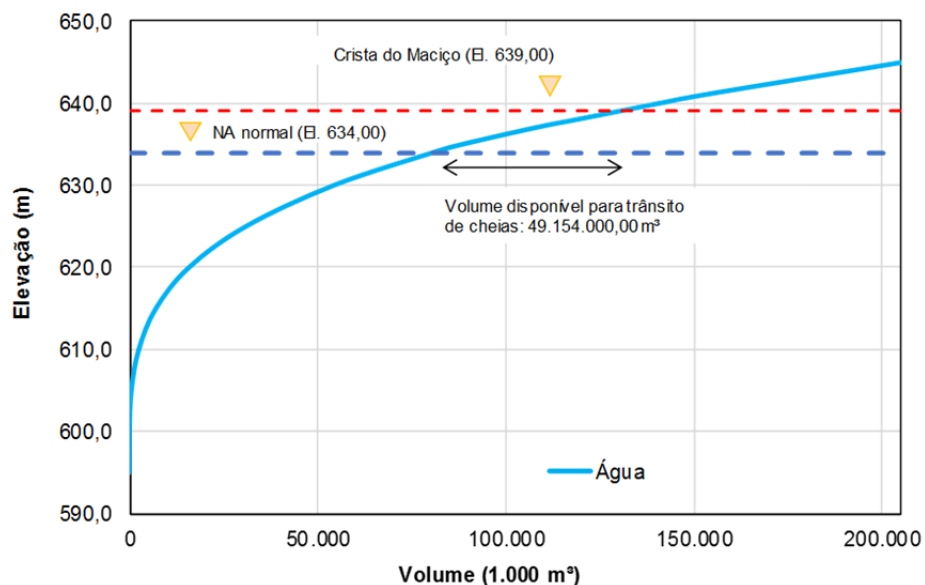


Figura 4.7 – Curva cota x volume da barragem do Rio Vacaria

Tabela 4.5 – Curva cota x volume da barragem do Rio Vacaria

Cota	Volume Total (m³)
595	-
600	40.000,00
605	560.999,88
610	2.550.917,37

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 24/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

Cota	Volume Total (m³)
615	7.074.653,44
620	15.897.250,25
625	31.030.436,14
630	54.391.856,80
634	80.775.000,00
635	88.604.000,00
637	107.730.000,00
638	118.829.000,00
640	141.029.000,00
641	152.495.000,00
645	205.725.000,00

O croqui apresentado na Figura 4.8 ilustra o reservatório considerado no estudo de ruptura hipotética da Barragem 1.

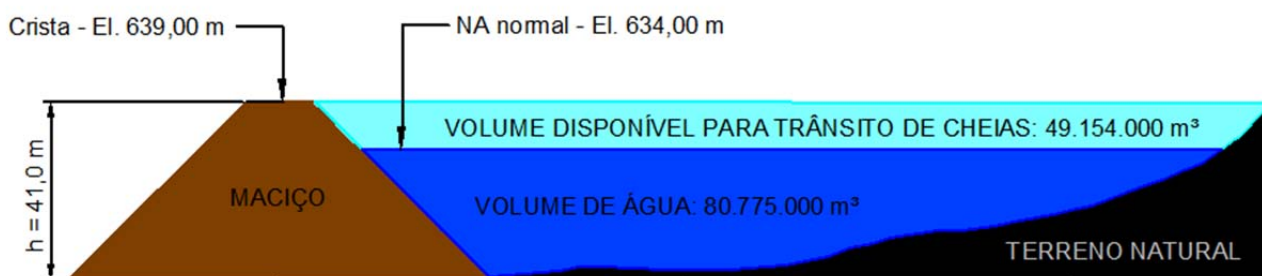


Figura 4.8 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da barragem do Rio Vacaria (sem escala).

4.5.2 Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria

O vertedouro será constituído por um canal retangular escavado em rocha, posicionado na ombreira esquerda. A soleira do vertedouro foi fixada na El. 634,0 m, com largura de 65,0 m e 4,0 m de lâmina d'água. No final do vertedouro, a dissipação será natural, feita com um trecho horizontal de 20 m de comprimento, com fundo plano na El.598,00 m, para recuperação do nível.

A Equação 6.1 foi usada para determinar a curva cota descarga, enquanto a Tabela 4.6 ilustra os valores em forma tabular.

$$Q = C_d L H^{1,5}$$

Equação 6.1

Em que:

Q = Vazão passante pelo vertedouro, em m³/s;

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 25/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

C_d = Coeficiente de descarga, adimensional;
 L = Comprimento do vertedouro, em m; e
 H = Altura de lâmina d'água no vertedouro, em m.

Tabela 4.6 – Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria

Elevação (m)	Vazão (m ³ /s)
634,00	0,00
635,00	111,15
636,00	314,38
637,00	577,55
638,00	889,20
639,00	1242,69

5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS

5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA

A metodologia utilizada para o estudo de ruptura hipotética da Barragem 1 pode ser resumida em quatro etapas, a saber:

- Definição dos parâmetros da brecha;
- Determinação do hidrograma de ruptura;
- Propagação da onda de ruptura; e
- Mapeamento de áreas potencialmente inundáveis.

Nos tópicos a seguir são descritas as metodologias utilizadas.

5.2 CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

Para a determinação do cenário de simulação, foi adotada a metodologia de estudo de ruptura simplificado, como recomendado no documento “*Dam Safety Guidelines – Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification*”, elaborado pelo *Washington State Department of Ecology* em julho de 1992 e posteriormente revisado em outubro de 2007.

De acordo com o documento supracitado, a utilização do nível de água no NA normal do barramento, apresenta resultados aceitáveis para estudos dessa magnitude, como o da Barragem 1. Dessa forma os cenários determinados para a ruptura hipotética foram:

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 26/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

- **CENÁRIO INICIAL** – Ruptura do dique inicial (crista na El. 890,0 m), considerando o nível de água do reservatório fixado no NA normal (El. 887,0 m) no momento da ruptura e a configuração da cava referente ao final do ano 7.
- **CENÁRIO FINAL** – Ruptura da barragem no estado final (crista na El. 935,0 m), considerando o nível de água do reservatório fixado no NA normal (El. 932,0 m) no momento da ruptura e a configuração final da cava referente ao ano 18.

5.3 HIDROGRAMAS DE RUPTURA

5.3.1 Hipóteses de Ruptura e Modo de Falha

A definição da hipótese de ruptura foi realizada com base na verificação da possibilidade de falha por instabilização da estrutura. Em consequência dessa ruptura ocorre a sobrelevação do nível de água da barragem do Rio Vacaria até a crista, acarretando, também, a sua ruptura por galgamento (*overtopping*).

5.3.2 Definição do Volume de Material Mobilizado

Diferentemente de uma barragem de água, onde todo o material é liberado para jusante em caso de ruptura, para barragens de contenção de rejeitos apenas parte do volume depositado no reservatório é liberado. Para determinação do volume de rejeito escoado foi adotada a correlação entre o volume total do reservatório (V_t) e o volume expelido do reservatório (V_f), apresentado por RICO et al. (2008) descrita pela equação empírica a saber:

$$V_f = 0,354 \times V_t^{1,01}$$

Equação 5.1

O volume total do hidrograma de ruptura da Barragem 1 para os diferentes cenários de análise será composto pelas parcelas apresentadas na Figura 5.1. Já para a barragem do Rio Vacaria, o hidrograma de ruptura é composto por 100% da água do reservatório.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 27/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03



Figura 5.1 – Composição do hidrograma de ruptura em termos de volume.

5.3.3 Parâmetros da Brecha

Na ocorrência de uma ruptura em barragem de terra ou enrocamento, a forma final mais frequente das brechas ocasionadas é a trapezoidal, segundo dados históricos sobre o tema (FROEHLICH E TUFAL, 2004).

Uma variedade de ferramentas e métodos está disponível para a previsão de cenários de ruptura de barragens, caracterizando o desenvolvimento da brecha. Para tal é comumente utilizadas formulações matemáticas deduzidas de modo empírico a partir de casos históricos. Cabe ressaltar que as principais características, obtidas por meio dessas equações, referem-se ao tempo de formação da brecha e largura média da mesma.

Dentre as metodologias disponíveis na literatura aquela desenvolvida por Froehlich é bastante citada para previsão das características da brecha. A mesma foi desenvolvida com base em 63 casos de ruptura de barragens, em 1995. Em 2016 os estudos foram revisados considerando 111 casos de ruptura de barragens.

Neste sentido, por meio das Equações 5.1 e 5.2 pode-se estimar a largura média da brecha e o tempo de formação, respectivamente (FROEHLICH, 2016).

$$B_{ave} = 0,23k_o V_w^{1/3}$$

Equação 5.1

Em que:

- B_{ave} : Largura média da brecha (m);

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 28/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

- V_w : Volume do reservatório no momento da ruptura (m^3);
- K_0 : Constante equivalente a 1,5 para casos de rompimento por galgamento.

$$T_f = 60 \sqrt{\frac{V_w}{gH_b^2}}$$

Equação 5.2

Em que:

- T_f : Tempo de formação da brecha (s);
- V_w : Volume do reservatório no momento da ruptura (m^3);
- H_b : Altura da brecha (m);
- g : Aceleração da gravidade (m/s^2).

Cabe destacar que, para simular a ruptura do maciço principal por instabilização, foi utilizada a formulação de galgamento prevista por Froehlich para obtenção da geometria da brecha, já que a mesma é considerada conservadora.

5.3.4 Desenvolvimento da Brecha e do Hidrograma de Ruptura

Para a geração do hidrograma resultante da ruptura da barragem foi utilizado o *software* HEC-HMS 3.5, inserindo, como dados de entrada, a curva cota-volume do reservatório da Barragem 1 e da barragem do Rio Vacaria, além dos parâmetros de formação da brecha.

5.4 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

5.4.1 Descrição do Trecho de Propagação

A área a jusante da Barragem 1 delimitada para o desenvolvimento do estudo (*Dam Break*) é definida pelo córrego Lamarão, pelo rio Vacaria e pelo rio Jequitinhonha por, aproximadamente, 400 km de curso de água.

Os trechos inundados são caracterizados como terreno natural, sendo estas áreas de campo ou de mata, ao longo da calha dos rios, além de áreas antropizadas. Ao longo desses rios algumas vias, acessos (BR-341, BR-251, BR-367, BR-116 e MG-342, MG_105), pontes, travessias, benfeitorias isoladas e a cava da planta da SAM são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura do cenário inicial. Além desses pontos, quatro pequenos aglomerados urbanos são parcialmente atingidos. São eles, Coronel Murta, localizado na MG-342, Itinga, localizado na MG-367, Itaobim, localizado no cruzamento da MG-367 com a BR-116 e Jequitinhonha, localizado no cruzamento da MG-367 com a BR-116. No Cenário final, além dos acessos e aglomerados urbanos já citados, a Cidade Almenara, localizada na MG-367, é atingida.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 29/67	
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03	

5.4.2 Parâmetros de Resistência

Adotou-se como premissa de projeto a variação do coeficiente de Manning na área a jusante da barragem. Os valores de Manning adotados foram considerando o escoamento apenas como água. Este critério foi adotado visando um estudo conservador do ponto de vista do tempo de chegada da onda, quando comparado a estudos que corrigem o valor do Manning de acordo com a concentração volumétrica do material escoado e, conseqüentemente, obtem maiores valores para este coeficiente. Maiores valores de Manning implicam em menores velocidades para o fluxo, aumentando o tempo de chegada da onda na área a jusante, parâmetro importante para planejamento da evacuação da área afetada.

A Tabela 5.1 apresenta os valores para o coeficiente de Manning para cada tipo de cobertura do solo.

Tabela 5.1 – Coeficiente de rugosidade de Manning.

Cobertura	n
Calha Menor	0,025
Área Urbana	0,070
Mata	0,080
Campo	0,045
Solo Exposto	0,035
Água	0,010

5.4.3 Condições Iniciais e de Contorno

Para a simulação do cenário de simulação foi considerada como condição de contorno de montante o hidrograma de ruptura da barragem e como condição de contorno de jusante foi utilizada a profundidade normal referente à declividade do trecho final.

5.4.4 Definição do Critério de Parada

Foi utilizada como premissa para o fim do mapeamento de inundação a seção em que a vazão do hidrograma de ruptura propagado fosse menor que a vazão com TR de 2 anos do rio Jequitinhonha, que é uma vazão recorrente. À vista disto, foi desenvolvido o estudo de análise de frequência de três estações fluviométricas, pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA), no rio Jequitinhonha. O procedimento adotado para esse estudo está descrito a seguir:

- Análise de consistência dos registros diários de vazão das estações fluviométricas do rio Jequitinhonha, descartando os anos com falhas nos meses de cheia.
- Construção de uma série de vazões máximas anuais;
- Ajuste de uma distribuição de frequência teórica à série;
- A partir da distribuição estudada, estimou-se a vazão com período de retorno de 2 anos.

PROJETO CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
30/67

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Seguindo esses critérios, as estações analisadas foram Itaobim (54580000), Jequitinhonha (54710000) e Jacinto (54780000) no período comum entre as duas estações. Os dados dessa análise estão apresentados na Tabela 5.2. As vazões extremas utilizadas nos ajustes encontram-se dispostas na Tabela 5.3.



Figura 5.2 Localização das estações utilizadas para o cálculo da vazão pela análise de frequência.

Tabela 5.2 Vazões máximas anuais

Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto	Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto
Ano	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Ano	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)
1940	774	655	-	1978	1300	873	10049
1941	777	1081	4216	1979	784	920	3140
1942	1067	620	7920	1980	1057	737	4855
1943	1242	557	8129	1981	936	739	5625
1944	896	725	4521	1982	672	523	3035
1945	1138	871	6758	1983	747	438	4698
1946	453	612	1598	1984	802	735	4895
1947	648	622	2977	1985	876	815	4100
1948	875	774	3659	1986	493	1300	1508

**PROJETO BLOCO 8**PROJETO CONCEITUAL
MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
31/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto	Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto
Ano	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Ano	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)
1949	758	777	1830	1987	559	784	2136
1950	564	1067	1982	1988	581	1057	3125
1951	706	1242	2702	1989	890	936	9529
1952	672	896	2583	1990	572	672	2307
1953	599	1138	3078	1991	953	747	7304
1954	730	453	3346	1992	771	802	4698
1955	854	648	4.485	1993	536	876	1.597
1956	776	875	4.304	1994	448	493	998
1957	516	758	1.862	1995	560	559	1.709
1958	512	564	1.541	1996	714	581	3.080
1959	987	706	5.498	1997	471	890	1.252
1960	747	672	3.438	1998	575	572	3.310
1961	592	599	2.032	1999	638	953	2.663
1962	640	730	2.354	2000	643	771	2.690
1963	990	854	6.366	2001	738	536	5.935
1964	491	776	1.636	2002	520	448	1.460
1965	562	516	2.202	2003	716	560	4.011
1966	648	512	3.676	2004	571	714	1.882
1967	1.073	987	7.462	2005	654	471	2.608
1968	680	747	3.627	2006	666	575	2.608
1969	854	592	4.263	2007	318	638	619
1970	873	640	4.468	2008	530	643	1.871
1971	920	990	4.172	2009	648	738	2541
1972	737	491	3.405	2010	348	520	1.070
1973	739	562	3.958	2011	525	716	1.441
1974	523	648	1.849	2012	360	571	682
1975	438	1.073	1.217	2013	768	654	3.502
1976	735	680	3.279	2014	370	666	832
1977	815	854	3.700				

Em 2006 foi inaugurada a usina hidrelétrica Irapé, pertencente à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), localizada no rio Jequitinhonha, 23,8 km a montante da junção do rio Vacaria com o rio Jequitinhonha. Essa usina tem potência instalada de 399MW e é a barragem mais alta do Brasil com 208 metros de altura.

A análise dos dados de vazão do rio Jequitinhonha antes e depois da construção da barragem Irapé mostrou que a implantação da mesma alterou o regime fluviométrico desse rio (Tabela 5.3). A esses

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 32/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

dados foram aplicadas diferentes distribuições estatísticas (Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Pearson Tipo III, GEV, LogNormal, Log Pearson tipo III) para obtenção da vazão máxima com diferentes tempos de retorno (TR). A partir de uma análise das distribuições calculadas, adotou-se a distribuição estatística Gumbel, ajuste que melhor representou estes dados para extrapolação de análise de eventos para os dois casos (antes e após a construção da barragem). A Figura 5.3 apresenta as curvas da distribuição aplicadas aos dados após a construção da barragem e a Tabela 5.3 apresenta as vazões para o Tempo de Retorno de 2,33 anos.

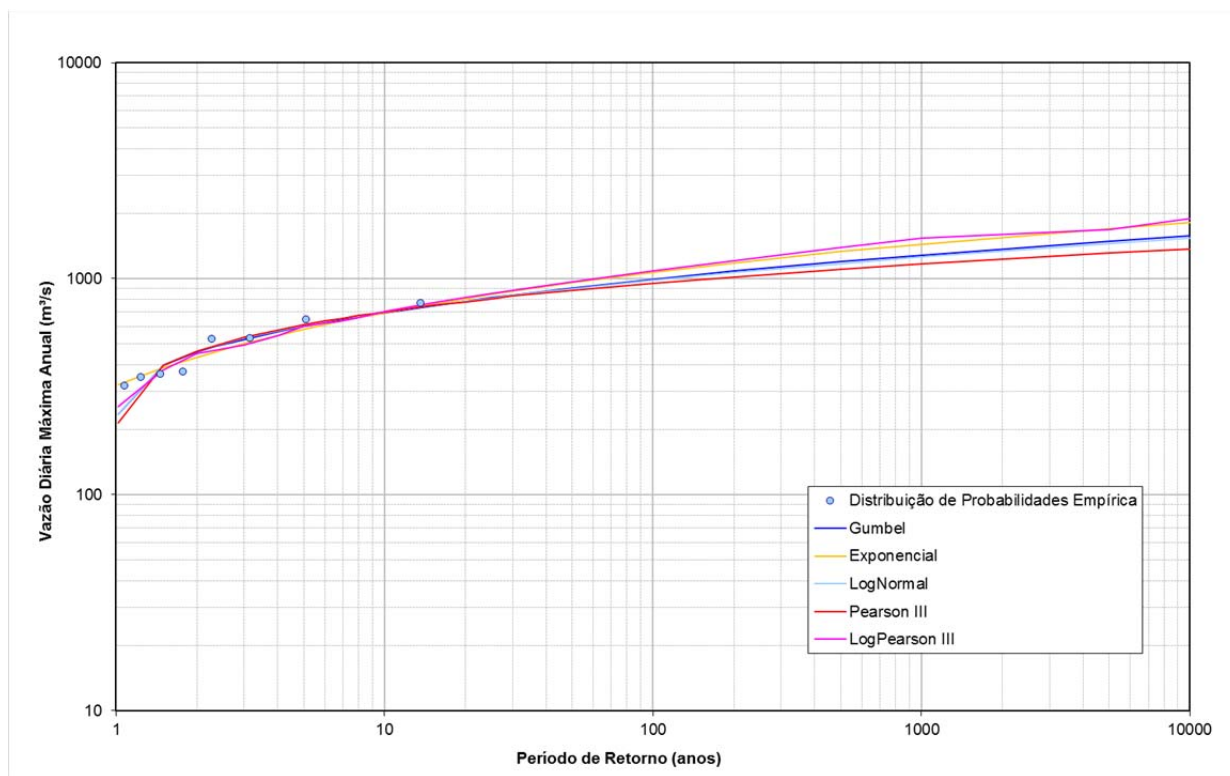


Figura 5.3 Análise de Frequência com dados de 2007 a 2014 da estação Itaobim (54580000).

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 33/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

Tabela 5.3 Resultado da Análise de Frequência

Código	Nome	Periodo	TR(anos)	Gumbel
				Q(m³/s)
54580000	Itaobim	1940 - 2014	2,33	780,9
		1940 - 2006	2,33	775,3
		2007 - 2014	2,33	483,6
54710000	Jequitinhonha	1940 - 2014	2,33	797,4
		1940 - 2006	2,33	785,5
		2007 - 2014	2,33	643,3
54780000	Jacinto	1941 - 2014	2,33	4.083,0
		1941 - 2006	2,33	4.038,7
		2007 - 2014	2,33	1.570,9

A partir dessa metodologia, foram consideradas as vazões de cada estação com um tempo de retorno de 2,33 anos, equivalente à média de uma variável da distribuição Gumbel, a fim de determinar, a partir do par ordenado área de drenagem – vazão, uma equação regional que define o comportamento das vazões para diferentes áreas de drenagem. De maneira conservadora, optou-se por utilizar as vazões calculadas com os dados após o ano de 2006.

Em seguida, utilizou-se do método “*index flood*”, que assume, em uma região homogênea, que as vazões adimensionais (razão entre máxima e fator de adimensionalização) obedecem a uma distribuição de probabilidades única, ou seja, uma mesma distribuição de frequência para os dados avaliados, a menos de um fator de escala local denominado *index-flood* ou fator de adimensionalização.

A definição da curva adimensional regional foi realizada pela estimação dos parâmetros da curva regional paramétrica, sendo os mesmos determinados pelas médias dos parâmetros da distribuição adotada para a região, ponderando pelos respectivos comprimentos das séries de cada estação, ou seja, quantidade de dados amostrais (máximos anuais). Destaca-se que, para o presente estudo a distribuição adotada foi a Gumbel conforme mencionado anteriormente.

Para determinação da vazão relacionada a diferentes tempos de retorno das sub-bacias traçadas, foram multiplicados os quantis regionais adimensionais pelo fator de adimensionalização ($Q_{med-máx}$) calculado para cada área de drenagem por meio da equação regional. As vazões calculadas estão apresentadas na Tabela 5.4.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 34/67
		WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

Tabela 5.4 Vazões com 2 anos de Tempo de Retorno

Estação	Área de Drenagem (km ²)	Vazão com TR de 2 anos (m ³ /s)
Itaobim	45.600	336,5
Jequitinhonha	50.500	494,3
Jacinto	62.700	1.116,6

5.4.5 Zona de autossalvamento

De acordo com a Portaria no 70.389/2017 do DNPM, a zona de autossalvamento é definida como a região a jusante da barragem que se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente. De acordo com os critérios da Portaria, a zona de autossalvamento pode ser definida como a maior entre as distâncias atingidas pela mancha hipotética de ruptura da barragem: 30 (trinta) minutos ou 10 (dez) quilômetros.

A distâncias atingida pela mancha hipotética de ruptura da Barragem 1 nos primeiros 30 (trinta) minutos após o início da propagação do hidrograma é de 7,8 km para o cenário inicial e 10,0 km para o cenário final, dessa forma a zona de autossalvamento é definida como 10 km a jusante da barragem.

5.4.6 Modelo Matemático-Computacional

Para a propagação de cheias de ruptura (tempo x espaço) e consequente definição de áreas potencialmente inundáveis, utilizou-se o software HEC-RAS (*River Analysis System*), em sua versão 5.0.5, desenvolvido pelo HEC-USACE (*Hydrologic Engineering Center – U. S. Army Corps of Engineers*), o qual efetua cálculos de progressão bidimensional do escoamento. Sendo assim, esse software é capaz de determinar as elevações de nível de água e descarga em locais específicos ao longo de um curso de água, baseado na solução das equações de Saint-Venant.

Como dados básicos para o funcionamento do modelo, foi considerada a base topográfica, assim como os hidrogramas calculados.

Para simular a propagação da onda de ruptura, adotou-se uma malha de 15 x 15 para o talvegue do rio e uma malha de de 30 x 30 m para das demais áreas e intervalo de tempo computacional (Δt) variando de acordo com o coeficiente de Courant, sendo esse um parâmetro que visa analisar a estabilidade da simulação computacional realizada. Para uma simulação mais estável é indicado que tal coeficiente não ultrapasse 1 (USACE, 2018).

O modelo HEC-RAS necessita da determinação de uma faixa de valores possíveis do coeficiente para a realização da simulação, como sugerido por USACE (2018) foi adotada a faixa entre 0,40 e 1,00 para tal coeficiente. O software ainda necessita da inserção de uma faixa de valores possíveis para o intervalo de tempo para cálculo, senda essa adotada entre 1,25 e 20 segundos para as

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 35/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

regiões mais próximas a Barragem 1, onde as velocidades são maiores, e entre 2,5 e 40 segundos para as áreas mais afastadas.

O cálculo do coeficiente de Courant pode ser realizado pela Equação 5.3 a seguir.

$$C = \frac{v \cdot dt}{l} \quad \text{Equação 5.3}$$

Em que:

- C = Coeficiente de Courant, adimensional;
- v = Velocidade no ponto analisado, em m/s;
- dt = Intervalo de tempo adotado para cálculo, em s, e;
- l = Comprimento da face da célula adotada na simulação, e, m.

5.4.7 Modelo Matemático-Computacional

Em inundações rápidas, como no caso da ruptura de barragens, a velocidade da frente da onda pode ser suficientemente elevada para provocar danos às pessoas, arrastar edificações e estruturas de construção reforçadas. Os principais parâmetros para se classificar os danos são: a área atingida, a profundidade da cheia (H) e a sua velocidade de propagação (V). A ameaça provocada por esses fatores combinados corresponde ao risco hidrodinâmico, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, dado em m²/s, ilustrando o grau de perigo de uma cheia.

$$\text{Risco Hidrodinâmico} = H \times V \quad \text{Equação 5.3}$$

5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

5.5.1 Seções Transversais de Referência

Foram traçadas seções transversais representativas a jusante da Barragem 1, para detalhamento dos resultados obtidos na modelagem hidráulica. A Figura 5.4 a seguir ilustra as seções adotadas.

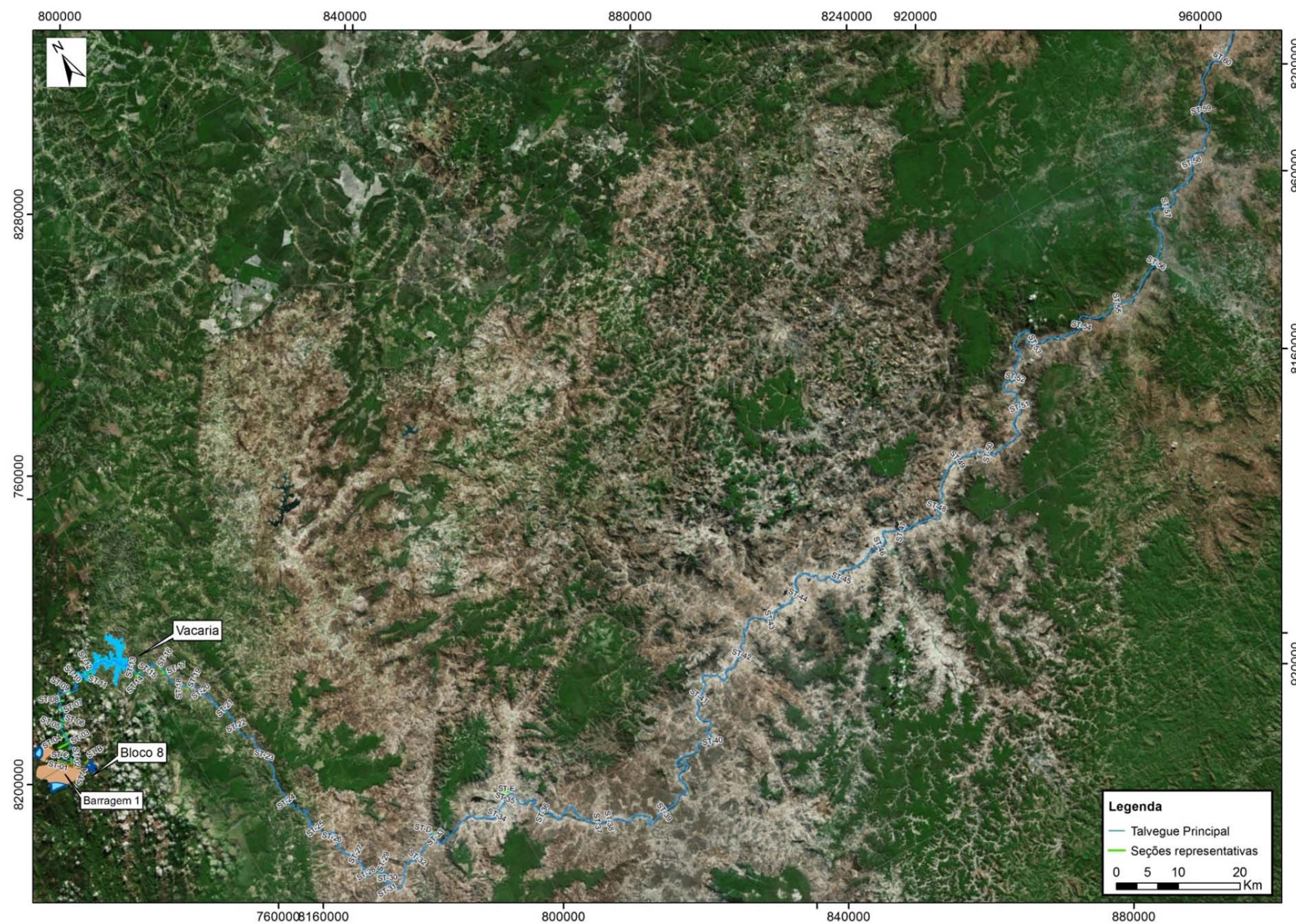


Figura 5.4 – Seções transversais representativas

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 37/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

5.5.2 Parâmetros de Inundação Mapeados

Uma vez que o estudo aqui apresentado visa subsidiar o Plano de Ação Emergencial, são ilustrados nos mapas de inundação provenientes das modelagens hidráulicas da onda de ruptura, os quais contêm dados de envoltória máxima atingida.

6.0 RESULTADOS

6.1 HIDROGRAMAS DE RUPTURA

Neste item são apresentados os resultados encontrados para os hidrogramas de ruptura defluentes da brecha formada na Barragem 1 e da barragem do Rio Vacaria, cujo volume no NA normal é de 104.783.000 m³ e no NA máximo é de 153.079.000 m³. A Tabela 6.1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos no cálculo do volume escoado para jusante da Barragem 1.

Tabela 6.1 – Composição dos volumes para a etapa de propagação.

Parâmetros	Cenário Inicial	Cenário Final
Volume Total (m³)	207.124.086,13	891.567.611,60
Volume de Água (m³)	21.685.186,17	23.908.027,45
Volume Rejeito (m³)	185.438.899,96	867.659.584,15
- Volume de água presa no rejeito (m ³)	93.360.310,60	440.471.996,87
- Volume de sólidos - total (m ³)	92.078.589,36	427.187.587,28
- Sedimento escoado para jusante (V _f)	69.164.957,24	328.651.882,37
Volume da Brecha (m³)	5.510.102,37	12.665.951,43
- Volume de sólidos da brecha (m ³)	5.510.102,37	7.735.274,05
- Volume de água presa na brecha (m ³)	0,00	4.930.677,39
Volume de água escoada para jusante (m ³)	0,00	4.930.677,39
Volume de sólidos escoado para jusante (m ³)	5.510.102,37	7.735.274,05
Volume total escoado para jusante (m³)	96.360.245,79	365.225.861,25
Concentração Volumétrica do volume total escoado (%)	41,4	46,4
Porcentagem do volume total do reservatório escoado para jusante	43,9%	39,5%

Os parâmetros de formação da brecha inseridos no modelo hidrológico HEC-HMS para determinação dos hidrogramas de ruptura da Barragem 1 e da barragem do Rio Vacaria são apresentados na Tabela 6.2.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 38/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

Tabela 6.2 – Parâmetros de formação da brecha para determinação dos hidrogramas de ruptura da Barragem 1 e da barragem do Rio Vacaria.

Parâmetros	Barragem 1		Barragem do Rio Vacaria
	Cenário inicial	Cenário final	
Elevação do topo da brecha (m)	890,00	935,00	639,00
Elevação do fundo da brecha (m)	770,00	770,00	598,00
NA máximo atingido (m)	887,00	932,00	634,00
Hd (m)	120,00	165,00	41,00
Hb (m)	120,00	165,00	41,00
Hw (m)	117,00	162,00	41,00
Vw (m ³)	235.348.761	919.792.287	153.079.000
k ₀	1,5	1,5	1,5
z	1,0000	1,0000	1,0000
B _{ave} (m)	213,00	335,52	184,55
B _b (m)	93,00	170,52	140,55
B _t (m)	333,00	500,52	228,55
t _f calculado (h)	0,6803	0,9781	1,4963
t _f adotado (min)	40,82	58,68	89,78

Nas Figura 6.1, Figura 6.2 e Figura 6.3 são apresentados os parâmetros da brecha para os cenários simulados para a Barragem 1 e da barragem do Rio Vacaria.

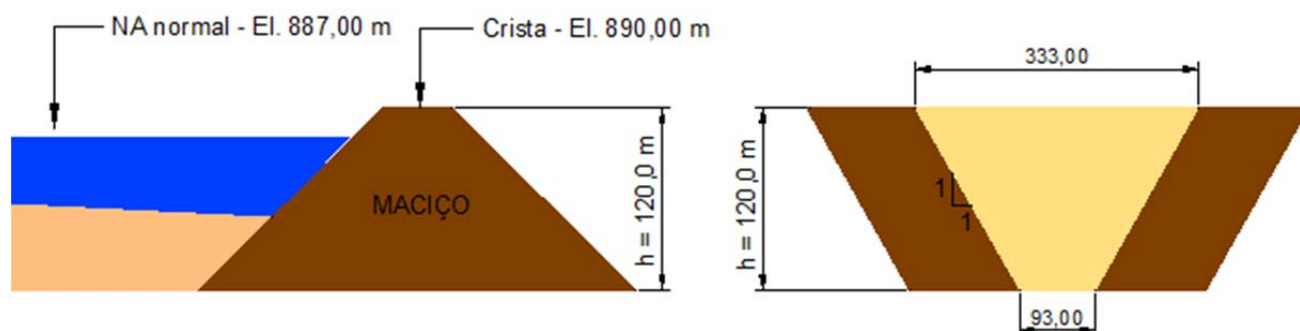


Figura 6.1 – Croqui da brecha – Barragem 1 – Cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
39/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

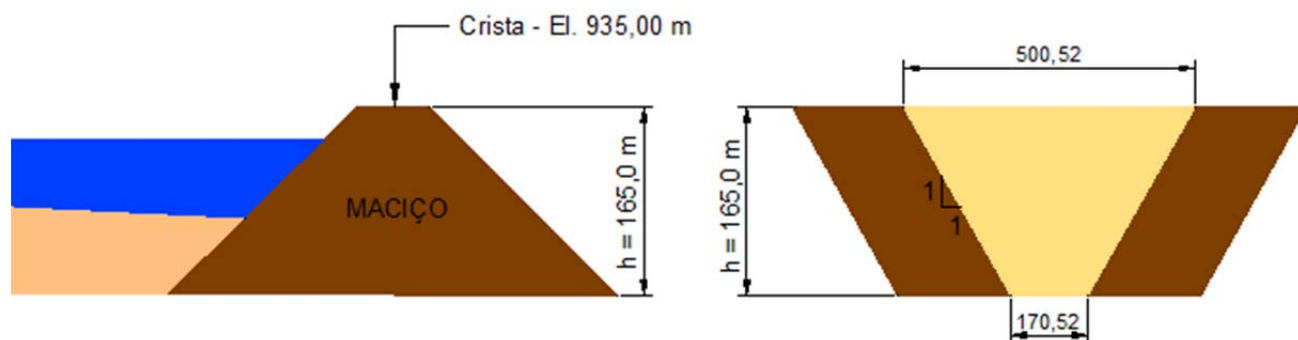


Figura 6.2 – Croqui da brecha – Barragem 1 – Cenário final

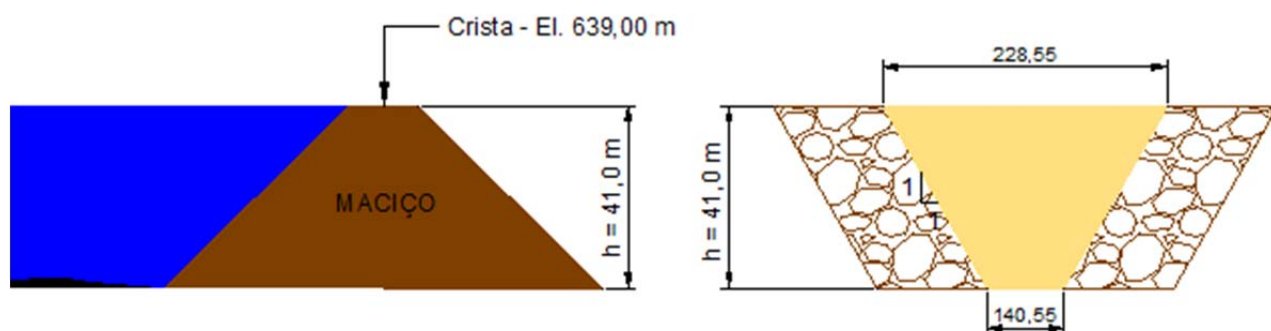


Figura 6.3 – Croqui da brecha – Barragem do Rio Vacaria

Para obtenção dos hidrogramas defluentes da ruptura hipotética das Barragem 1 e da barragem do Rio Vacaria foram realizadas as simulações das rupturas no *software* HEC-HMS.

Os hidrogramas resultantes dessas simulações bem como os hidrogramas afluentes ao reservatório da barragem do Rio Vacaria estão apresentados entre as Figura 6.4 e Figura 6.9. Conforme pode ser observado, o valor máximo de vazão de pico defluente, no instante da ruptura da Barragem 1, é de 106.578,1 m³/s para o cenário inicial e de 265.841,0 m³/s para o cenário final. A vazão de pico afluente ao reservatório da barragem do Rio Vacaria para os cenários inicial e final são, respectivamente, 12.355,57 m³/s e 17.263,19 m³/s. Com relação à ruptura da barragem do Rio Vacaria, o valor máximo de vazão de pico defluente é de 54.549,00 m³/s para o cenário inicial e de 63.036,70 m³/s para o cenário final.

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
 (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
40/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
 03

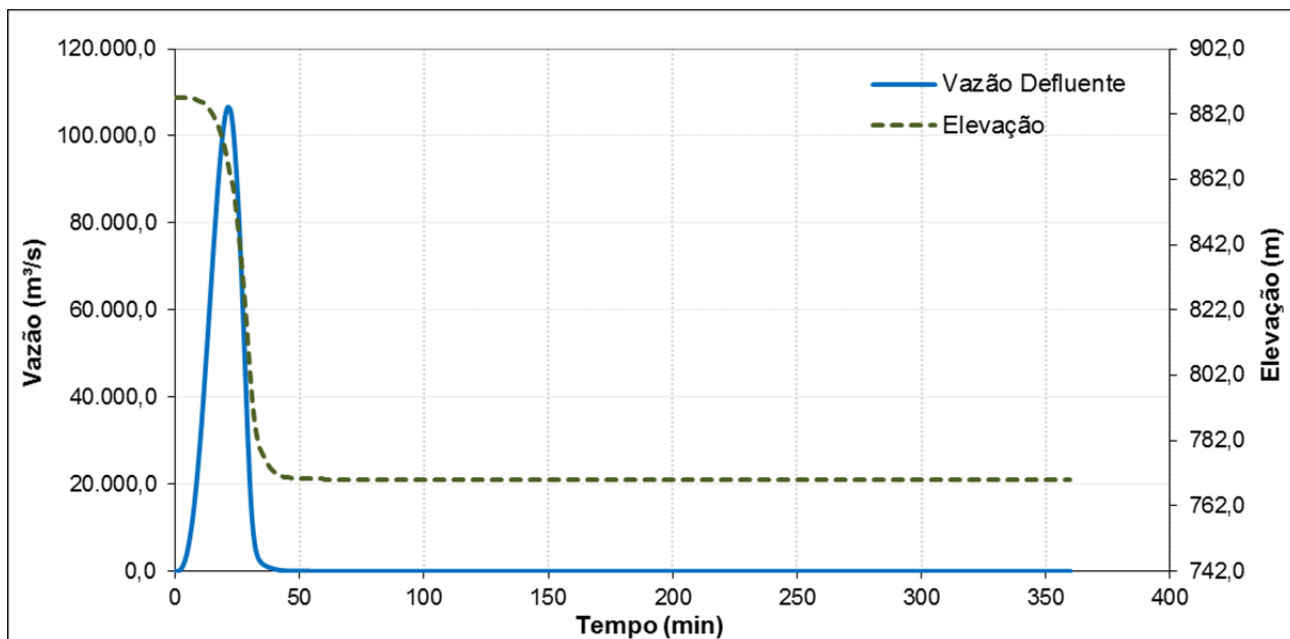


Figura 6.4 – Hidrograma defluente – Barragem1, cenário inicial

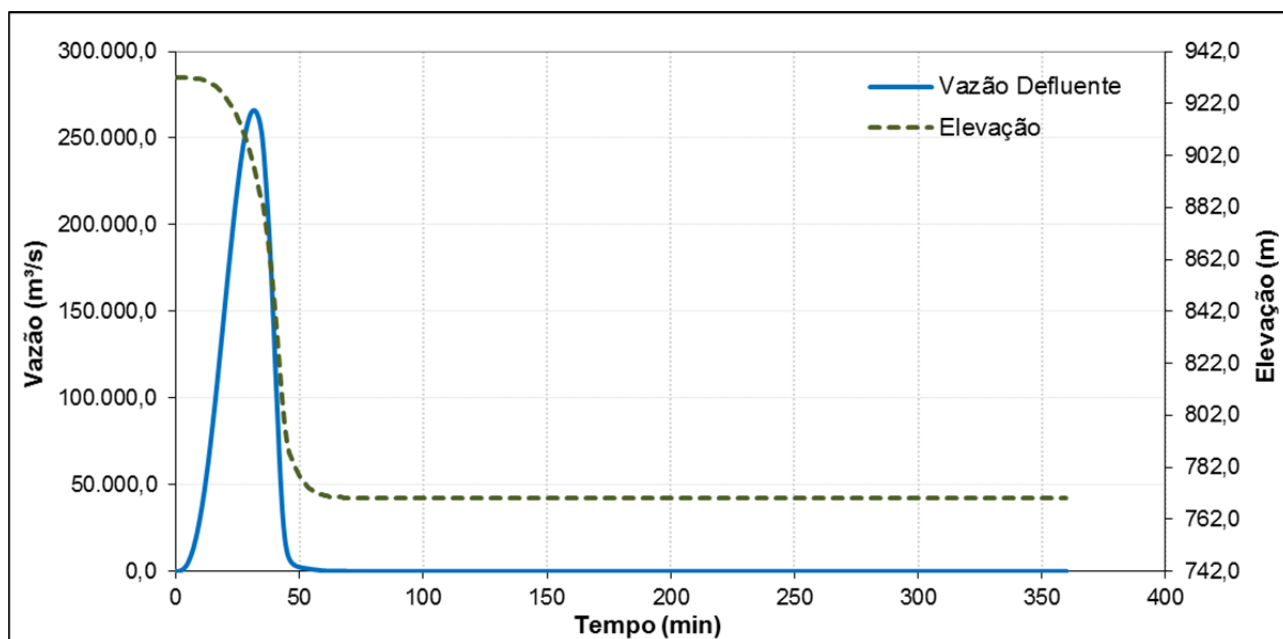


Figura 6.5 – Hidrograma defluente – Barragem1, cenário final

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
41/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

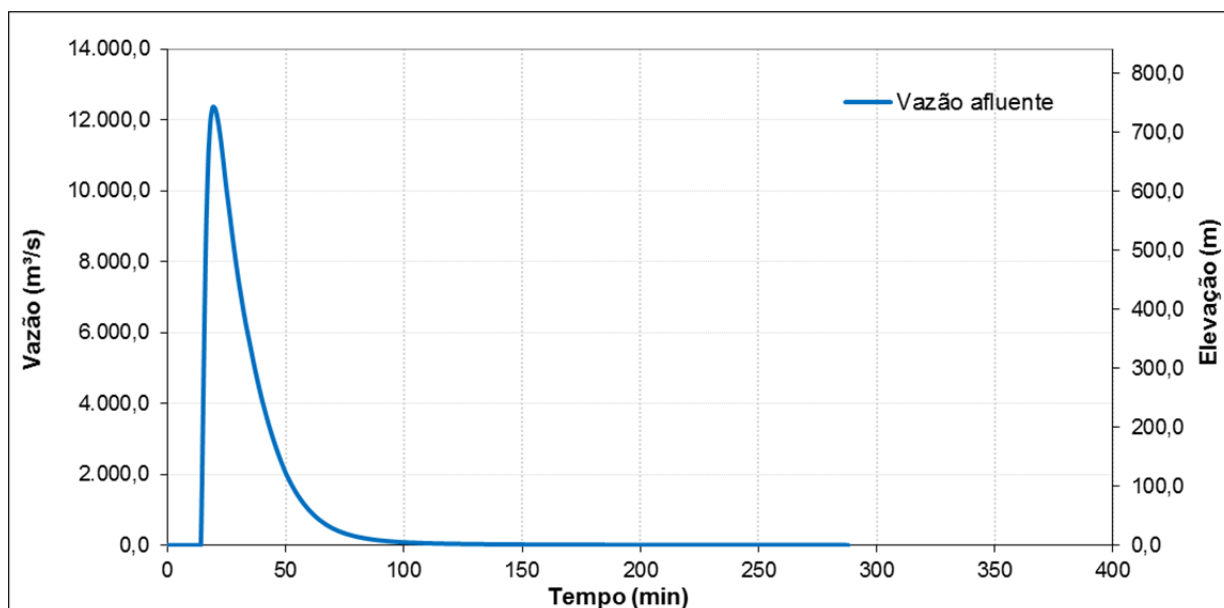


Figura 6.6 – Hidrograma afluyente ao reservatório da barragem do Rio Vacaria – Cenário inicial

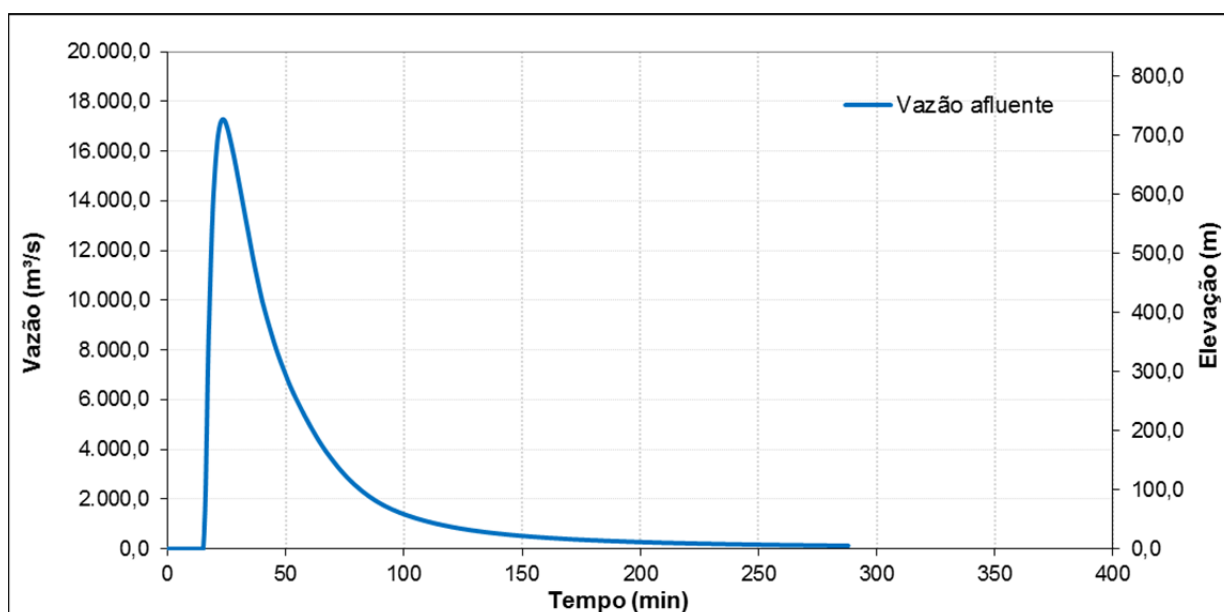


Figura 6.7 – Hidrograma afluyente ao reservatório da barragem do Rio Vacaria – Cenário final

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
 (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
42/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
 03

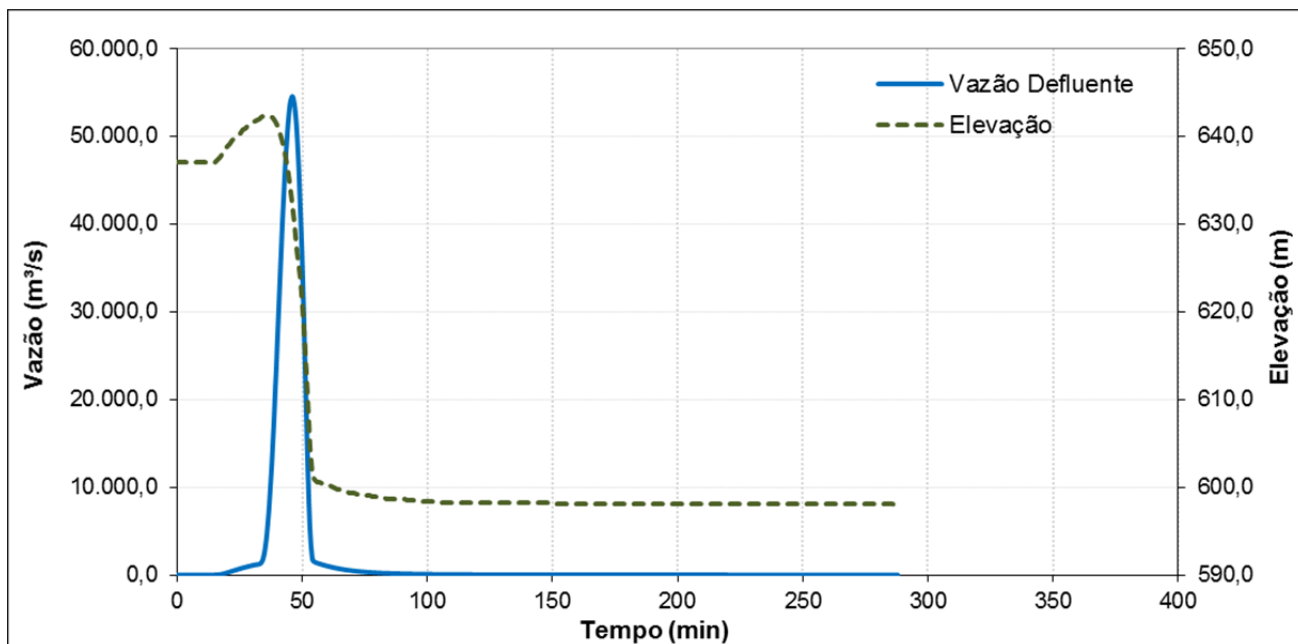


Figura 6.8 – Hidrograma defluente – Barragem do Rio Vacaria – Cenário inicial

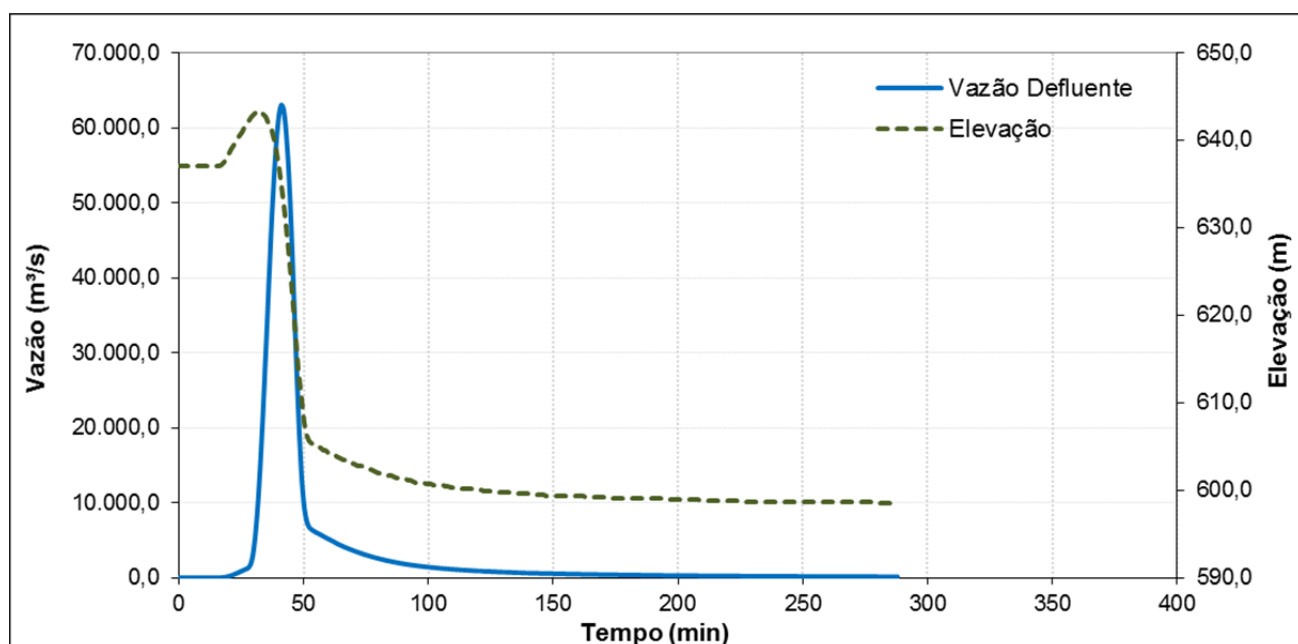


Figura 6.9 – Hidrograma defluente – Barragem do Rio Vacaria– Cenário final

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 43/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

6.2 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

Os principais resultados da modelagem hidráulica nas seções transversais representativas a jusante para os cenários simulados estão apresentados nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 6.4 e entre a Figura 6.10 e Figura 6.22.

Tabela 6.3 – Principais resultados da modelagem hidráulica – Cenário Inicial

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Inicial						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-01	0.5	59.6	834	98150	0:10:00	0:20:00	12.2	654.3
ST-02	2.5	48.7	801	74343	0:10:00	0:25:00	15.6	736.8
ST-03	6.2	35.5	803	55369	0:20:00	0:35:00	15.3	405.6
ST-04	7.8	28.0	795	54383	0:30:00	0:35:00	17.8	389.1
ST-05	10.0	37.6	722	40950	0:30:00	0:45:00	13.0	258.5
ST-06	11.4	23.9	704	40931	0:30:00	0:45:00	14.1	282.1
ST-07	13.4	24.2	690	36340	0:40:00	0:50:00	13.2	257.7
ST-08	15.5	23.2	675	32367	0:40:00	0:55:00	10.8	244.0
ST-09	18.9	19.8	663	18999	0:50:00	1:05:00	8.0	108.2
ST-10	25.3	17.8	655	12300	1:10:00	1:35:00	10.1	107.7
ST-11	28.3	18.9	647	11237	1:20:00	1:55:00	5.9	84.2
ST-12	29.5	19.0	644	10842	1:30:00	2:00:00	7.4	88.7
ST-13	41.9	37.1	643	53600	1:45:00	2:35:00	8.2	291.0
ST-14	43.8	35.1	640	51500	2:20:00	2:40:00	8.3	241.0
ST-15	46.2	32.4	634	48166	2:50:00	2:45:00	8.3	231.2
ST-16	50.4	29.1	628	39843	3:40:00	2:55:00	10.1	238.1
ST-17	51.7	34.6	626	35421	3:45:00	3:00:00	9.3	219.5
ST-18	55.3	34.8	612	32172	4:0:00	3:15:00	9.5	258.5
ST-19	57.1	34.5	604	30502	4:5:00	3:20:00	10.3	277.1
ST-20	60.0	34.0	592	27934	4:15:00	3:30:00	11.0	267.9
ST-21	66.8	32.2	579	22046	4:40:00	4:00:00	6.0	169.7
ST-22	70.7	28.3	565	21233	4:55:00	4:15:00	11.2	242.5

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
44/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Inicial						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-23	78.7	32.7	542	19704	5:20:00	4:45:00	7.5	199.6
ST-24	88.3	39.1	500	18131	5:55:00	5:20:00	9.2	173.8
ST-25	99.1	18.6	457	16339	6:35:00	6:05:00	12.4	224.7
ST-26	104.0	19.5	432	16073	6:55:00	6:20:00	9.9	178.2
ST-27	110.4	27.3	385	15998	7:15:00	6:40:00	8.5	201.7
ST-28	114.5	19.0	358	15641	7:30:00	6:55:00	8.8	165.2
ST-29	117.4	24.8	350	15505	7:40:00	7:00:00	6.2	131.3
ST-30	119.3	23.2	341	15435	7:45:00	7:05:00	6.3	125.9
ST-31	122.2	20.6	330	12327	7:55:00	7:40:00	4.4	83.0
ST-32	129.9	23.5	324	10399	8:35:00	8:20:00	4.4	63.2
ST-33	136.5	22.1	322	6785	9:15:00	9:30:00	3.4	45.0
ST-34	149.6	11.2	299	5897	11:10:00	11:10:00	2.6	23.9
ST-35	153.1	16.0	299	4340	11:40:00	11:45:00	3.3	19.5
ST-36	162.1	9.0	290	5897	13:10:00	11:10:00	2.7	10.6
ST-37	174.0	5.2	280	3559	15:30:00	17:10:00	1.7	5.5
ST-38	176.0	7.5	279	3470	16:0:00	17:45:00	1.6	8.2
ST-39	187.9	8.0	276	2183	18:55:00	22:55:00	1.4	6.8
ST-40	209.0	7.1	269	1566	27:35:00	32:45:00	2.0	6.6
ST-41	218.5	7.0	261	1491	31:20:00	35:40:00	2.1	12.3
ST-42	231.9	8.5	256	1363	35:25:00	39:20:00	2.0	7.7
ST-43	241.7	4.6	253	1249	38:45:00	43:20:00	1.4	4.9
ST-44	248.2	6.7	251	1171	41:25:00	46:15:00	1.7	3.6
ST-45	260.2	5.2	248	1056	47:10:00	51:55:00	1.4	4.2
ST-46	268.8	6.9	245	907	50:15:00	51:45:00	1.1	5.2
ST-47	274.8	7.6	245	763	52:30:00	61:30:00	1.3	5.7
ST-48	283.6	3.4	242	739	58:20:00	65:30:00	0.7	2.1
ST-49	292.5	3.3	236	730	63:55:00	68:30:00	1.2	3.7
ST-50	297.7	4.9	233	707	65:35:00	71:10:00	1.5	3.6

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
45/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Inicial						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-51	308.9	5.1	228	681	70:10:00	74:05:00	1.4	3.2
ST-52	316.6	4.2	228	592	74:10:00	80:35:00	0.9	2.0
ST-53	329.6	3.8	222	550	80:45:00	86:55:00	0.7	2.2
ST-54	338.2	13.8	217	542	85:5:00	89:40:00	1.9	2.6
ST-55	346.7	3.3	212	449	92:30:00	98:40:00	1.2	3.8
ST-a	356.6	19.8	798	989	0:30:00	0:25:00	2.5	19.6
ST-b	368.5	6.2	799	34	0:30:00	0:35:00	0.7	1.7
ST-c	378.0	8.7	813	19827	0:20:00	0:25:00	13.3	109.0
ST-d	388.5	19.0	322	2027	9:15:00	8:35:00	1.9	21.4
ST-e	398.9	8.9	299	148	12:0:00	11:00:00	1.0	3.1

Tabela 6.4 – Principais resultados da modelagem hidráulica – Cenário Final

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Final						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-01	0,5	76,9	852	260521	0:5:00	0:30:00	16,0	1209,1
ST-02	2,5	63,2	817	172929	0:10:00	0:35:00	21,6	1219,9
ST-03	6,2	66,4	751	228239	0:20:00	0:40:00	21,3	1149,8
ST-04	7,8	100,7	725	149600	0:25:00	0:35:00	24,8	1043,5
ST-05	10,0	35,3	720	35068	0:30:00	0:55:00	10,8	243,6
ST-06	11,4	23,7	703	34664	0:35:00	1:00:00	12,8	244,8
ST-07	13,4	23,2	689	33704	0:40:00	1:05:00	11,9	242,2
ST-08	15,5	23,1	675	31549	0:45:00	1:10:00	10,9	245,2
ST-09	18,9	21,3	664	20685	0:55:00	1:30:00	7,4	101,2

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
46/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Final						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-10	25,3	20,9	657	17232	1:20:00	1:55:00	9,7	108,8
ST-11	28,3	22,5	651	16363	1:30:00	2:10:00	6,1	103,1
ST-12	29,5	22,3	647	16018	1:35:00	2:15:00	8,0	103,8
ST-13	41,9	38,8	645	61977	2:55:00	4:40:00	8,9	340,4
ST-14	43,8	37,2	642	59935	3:25:00	4:45:00	8,5	251,6
ST-15	46,2	34,9	637	55462	3:55:00	4:50:00	8,6	269,4
ST-16	50,4	32,0	630	46178	4:20:00	5:00:00	11,1	267,6
ST-17	51,7	37,5	629	41837	4:25:00	5:10:00	9,8	245,6
ST-18	55,3	38,0	615	38390	4:40:00	5:20:00	8,9	277,8
ST-19	57,1	38,5	608	36491	4:45:00	5:30:00	10,0	285,5
ST-20	60,0	38,1	597	33563	4:55:00	5:35:00	11,4	293,8
ST-21	66,8	36,1	583	26890	5:20:00	6:10:00	6,1	185,2
ST-22	70,7	32,0	569	26066	5:35:00	6:25:00	11,0	266,4
ST-23	78,7	36,0	545	24443	6:00:00	6:55:00	7,1	229,9
ST-24	88,3	43,2	504	23045	6:30:00	7:30:00	9,4	205,3
ST-25	99,1	21,5	460	21413	7:10:00	8:15:00	13,8	284,0
ST-26	104,0	23,9	436	21121	7:30:00	8:30:00	9,8	206,8
ST-27	110,4	30,8	389	20836	7:50:00	8:50:00	7,4	213,0
ST-28	114,5	22,5	361	20626	8:5:00	9:05:00	10,1	220,3
ST-29	117,4	28,4	354	20493	8:15:00	9:10:00	5,9	151,5
ST-30	119,3	26,5	345	20424	8:20:00	9:15:00	6,6	149,9
ST-31	122,2	24,8	334	16653	8:30:00	9:55:00	4,8	109,3
ST-32	129,9	27,7	329	14361	9:10:00	10:30:00	4,9	86,4
ST-33	136,5	25,9	326	9625	9:45:00	11:50:00	3,8	61,1
ST-34	149,6	14,2	303	8506	11:30:00	12:50:00	3,0	31,4
ST-35	153,1	19,0	302	6668	11:55:00	14:50:00	3,8	25,3
ST-36	162,1	9,9	291	6445	13:20:00	16:00:00	3,1	14,9
ST-37	174,0	6,7	281	5748	15:20:00	18:15:00	1,9	8,3

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
47/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Final						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m³/s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m²/s)
ST-38	176,0	9,1	281	5576	15:45:00	18:30:00	1,9	12,4
ST-39	187,9	9,4	277	3678	18:10:00	22:55:00	1,7	11,4
ST-40	209,0	8,7	271	2979	25:0:00	31:00:00	2,3	11,8
ST-41	218,5	9,3	264	2839	27:55:00	33:35:00	2,4	16,0
ST-42	231,9	10,6	258	2617	31:10:00	36:50:00	2,3	13,9
ST-43	241,7	6,1	255	2442	33:45:00	39:45:00	1,7	8,4
ST-44	248,2	8,2	253	2312	35:50:00	42:25:00	2,0	6,9
ST-45	260,2	6,7	250	2109	40:15:00	47:00:00	1,7	8,0
ST-46	268,8	9,2	247	1770	42:35:00	50:10:00	1,8	10,0
ST-47	274,8	9,8	247	1598	44:20:00	56:05:00	1,5	10,8
ST-48	283,6	4,4	243	1573	48:40:00	58:50:00	0,9	3,9
ST-49	292,5	4,4	237	1563	52:55:00	61:05:00	1,5	6,6
ST-50	297,7	6,4	234	1547	54:15:00	62:30:00	2,0	7,8
ST-51	308,9	7,0	230	1481	57:40:00	65:30:00	1,8	6,3
ST-52	316,6	5,8	229	1428	60:30:00	69:25:00	1,2	4,2
ST-53	329,6	5,2	224	1397	65:5:00	72:50:00	1,1	4,6
ST-54	338,2	15,1	218	1386	68:5:00	74:50:00	2,4	6,5
ST-55	346,7	5,2	214	1271	72:20:00	79:00:00	2,0	7,9
ST-56	356,6	4,0	209	1196	77:20:00	84:25:00	1,8	5,2
ST-57	368,5	3,4	203	1116	86:10:00	90:25:00	1,3	3,1
ST-58	378,0	5,5	199	987	91:40:00	95:35:00	1,2	3,1
ST-59	388,5	6,4	193	727	97:35:00	108:05:00	1,7	4,3
ST-60	398,9	2,3	191	642	107:55:00	118:00:00	1,5	3,2
ST-61	408,1	5,6	184	579	119:0:00	127:00:00	2,4	2,9
ST-62	416,8	6,9	179	471	127:25:00	138:20:00	1,2	2,0
ST-63	424,4	13,6	173	465	137:20:00	141:50:00	1,0	8,0
ST-a	5,1	38,4	817	1873	0:25:00	1:40:00	3,2	33,2
ST-b	5,3	24,8	817	688	0:25:00	1:45:00	1,7	13,0

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
48/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Final						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-c	1,5	20,2	832	84677	0:20:00	1:50:00	19,6	378,9
ST-d	135,1	23,0	326	2844	9:45:00	25:55:00	2,2	29,9
ST-e	153,8	11,8	302	247	12:15:00	28:05:00	1,1	4,6



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
49/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

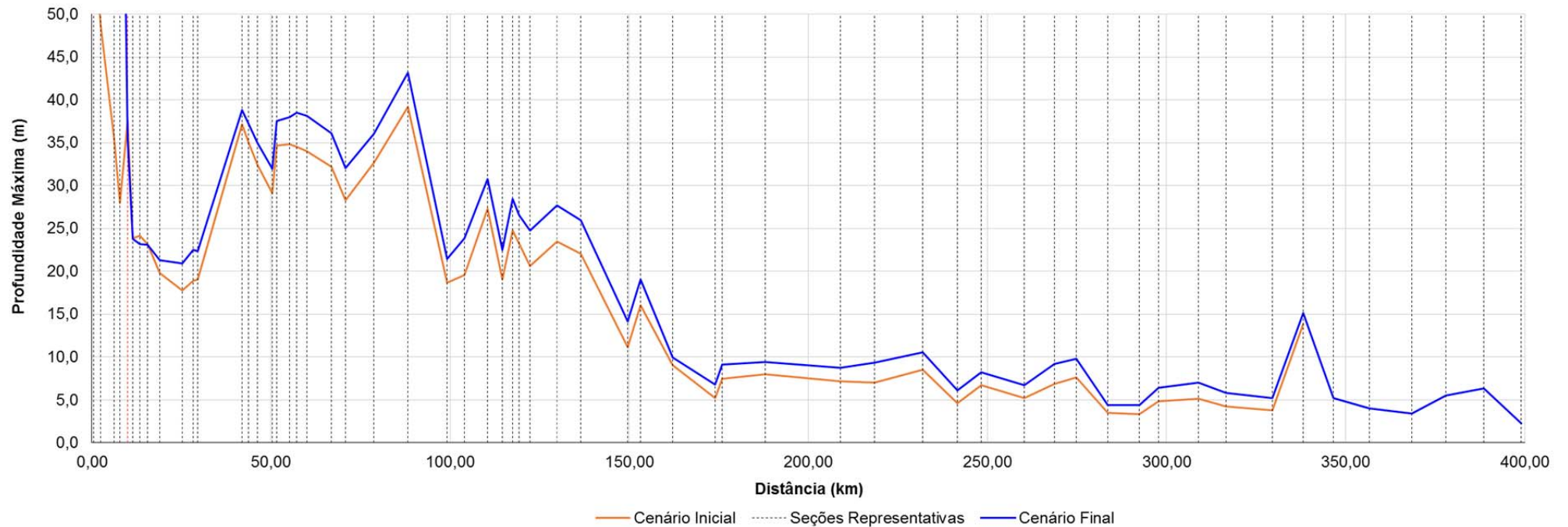


Figura 6.10 – Profundidades máximas encontradas



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
50/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

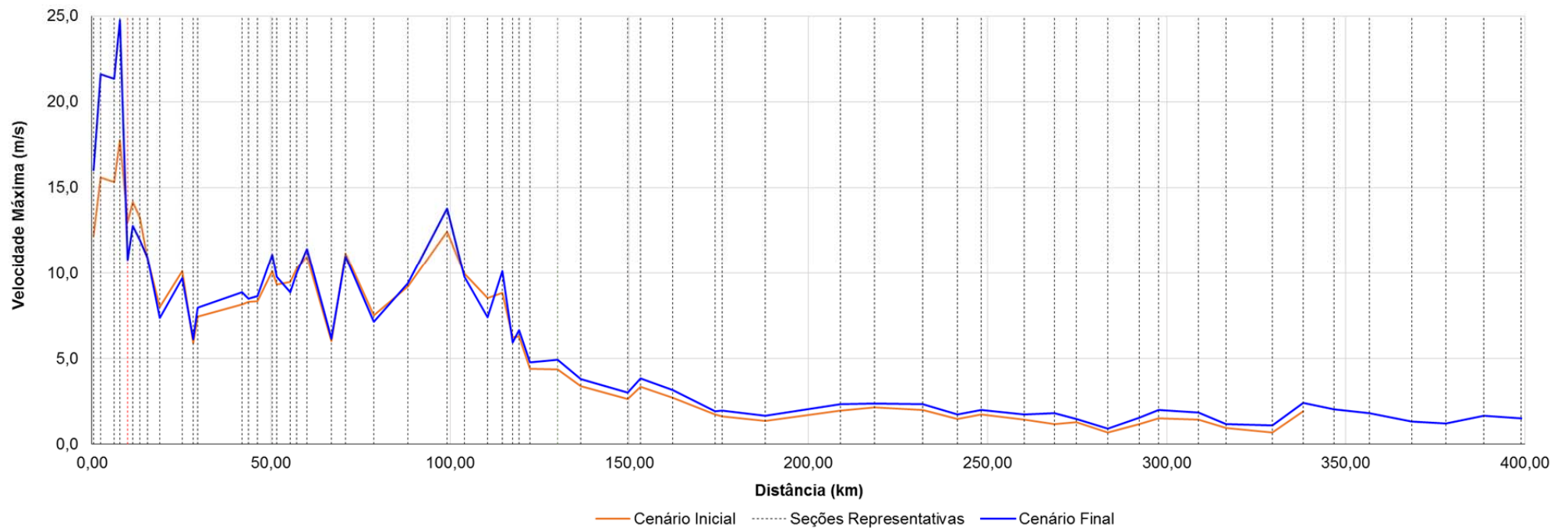


Figura 6.11 – Velocidades máximas encontradas



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
51/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

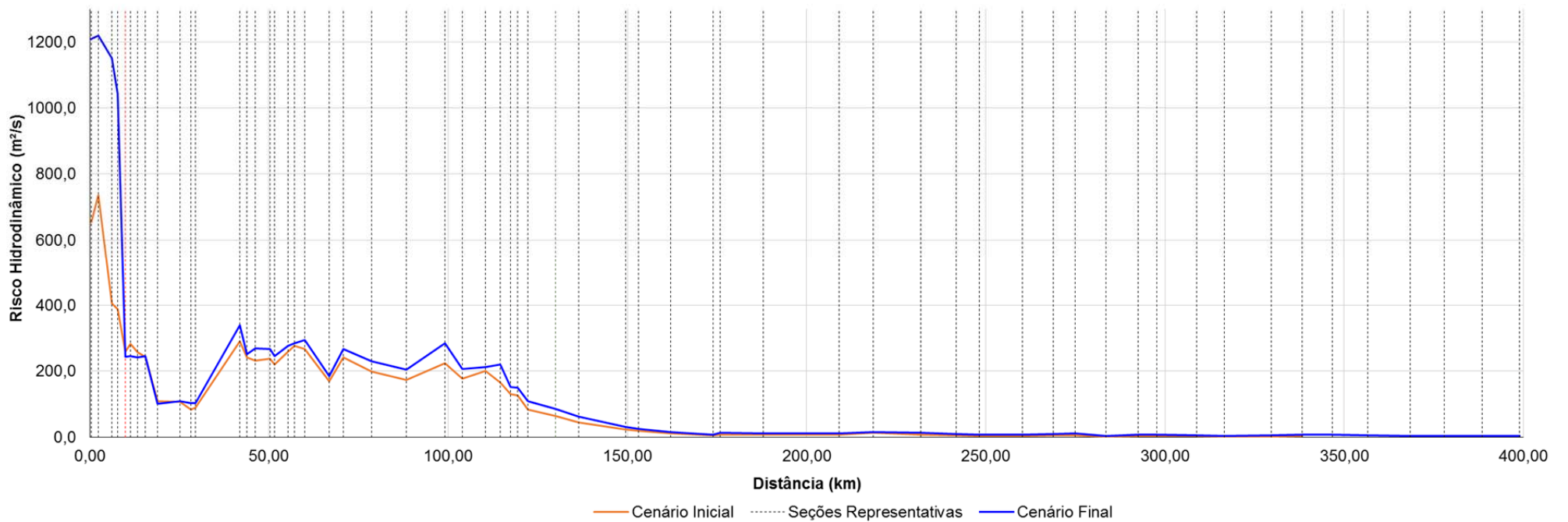


Figura 6.12 – Risco Hidrodinâmico máximo encontrado



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
52/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

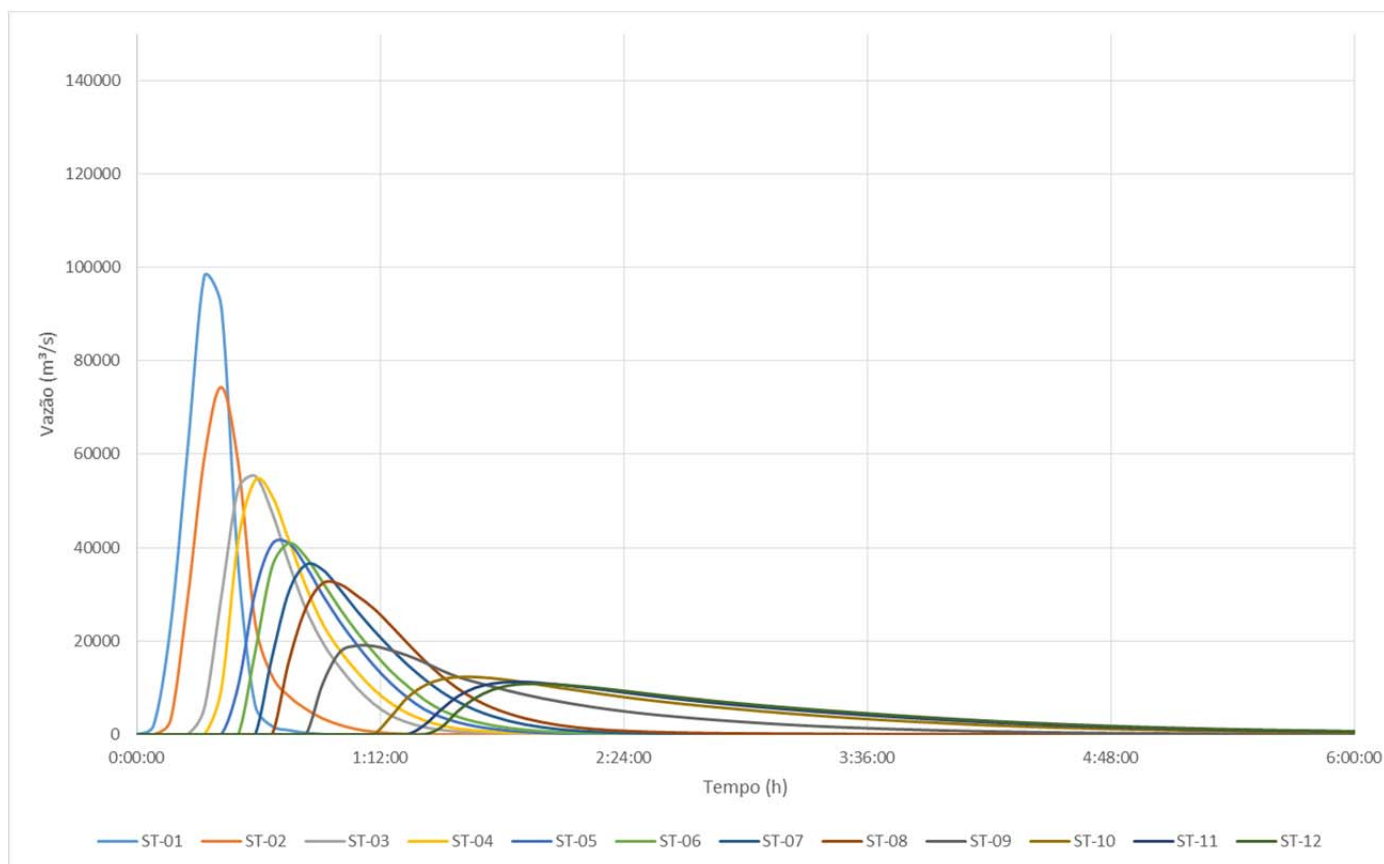


Figura 6.13 – Propagação da onda de ruptura, seções 1 a 12 – Cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
53/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

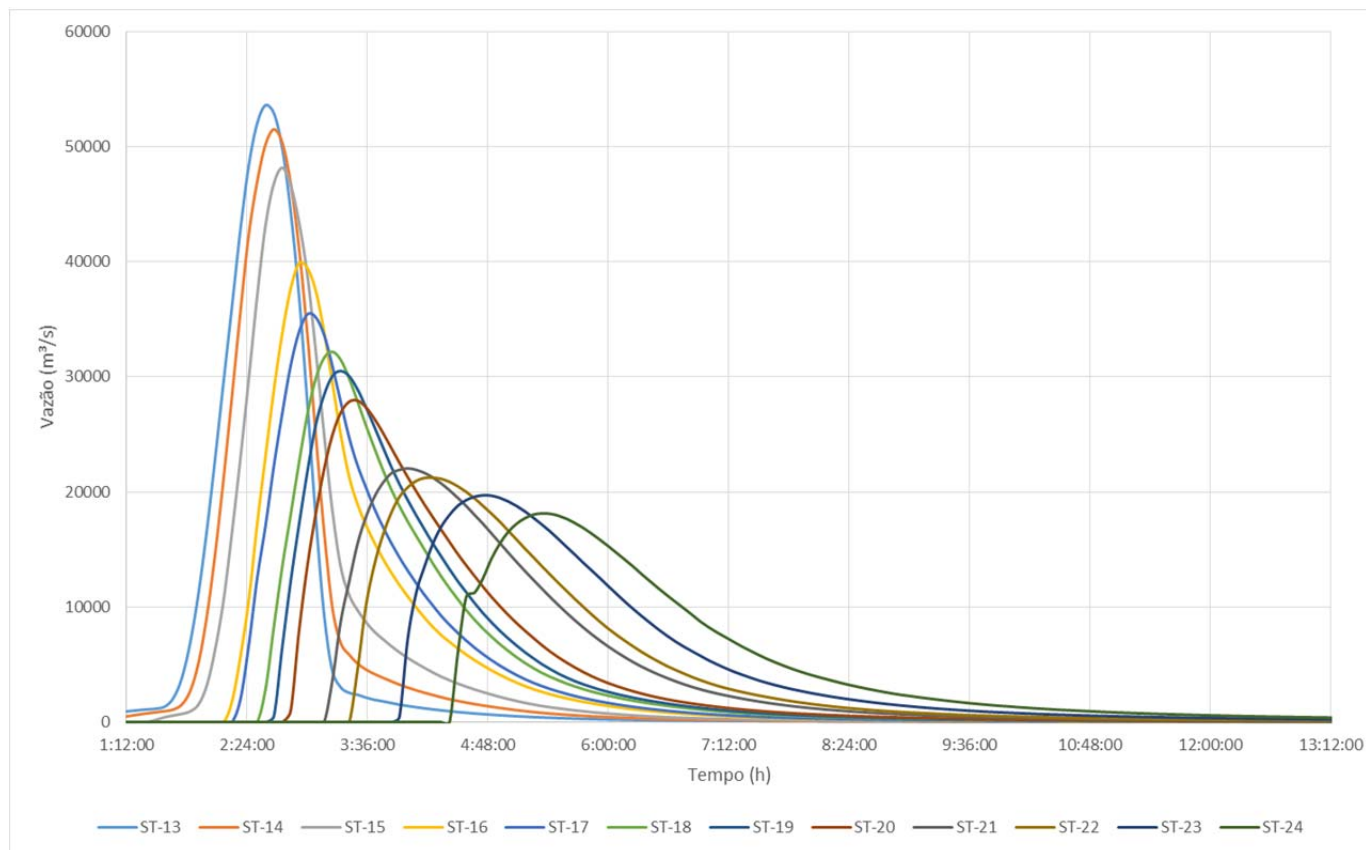


Figura 6.14 – Propagação da onda de ruptura, seções 13 a 24 – Cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
54/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

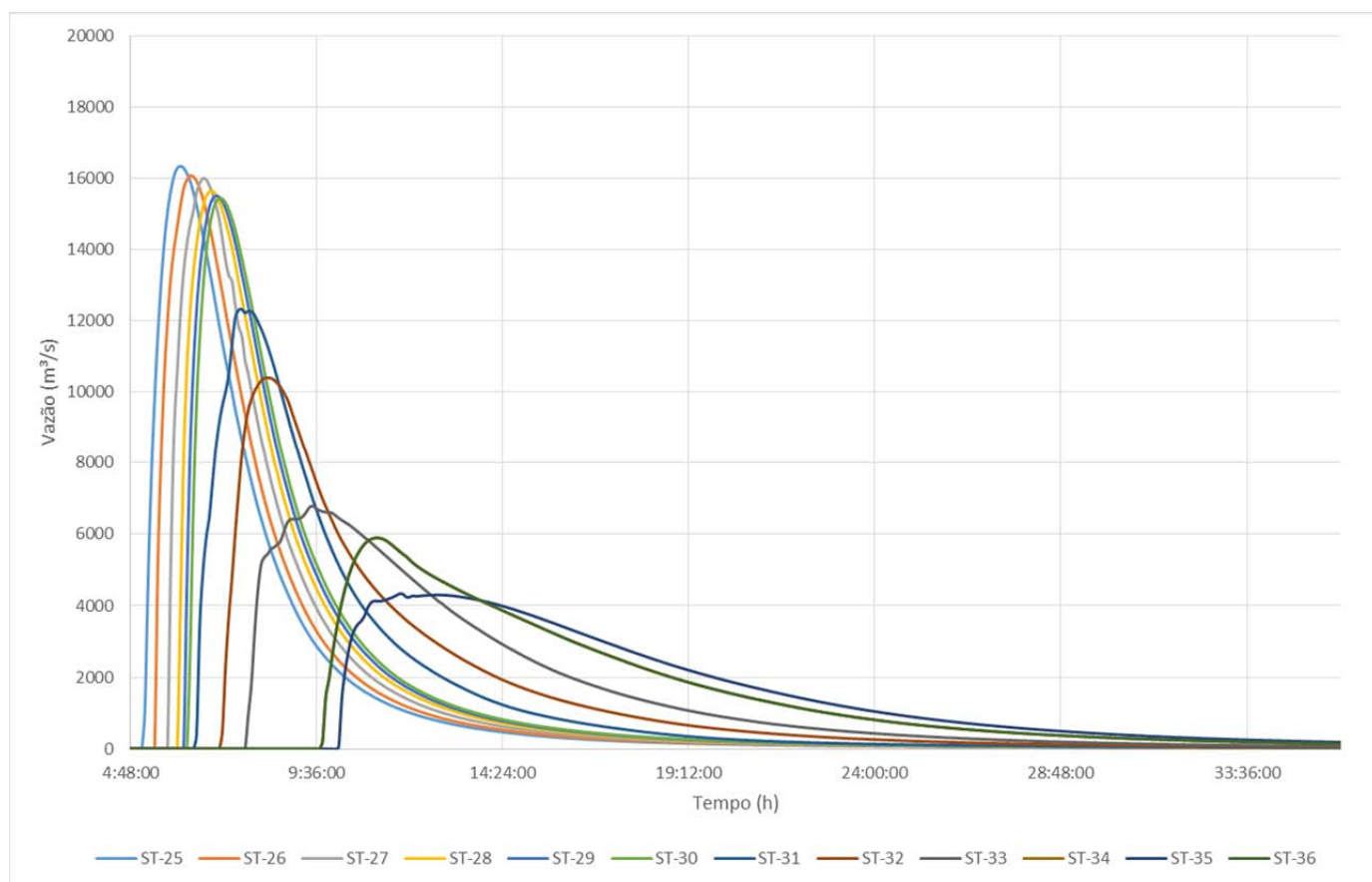


Figura 6.15 – Propagação da onda de ruptura, seções 25 a 36 – Cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
55/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

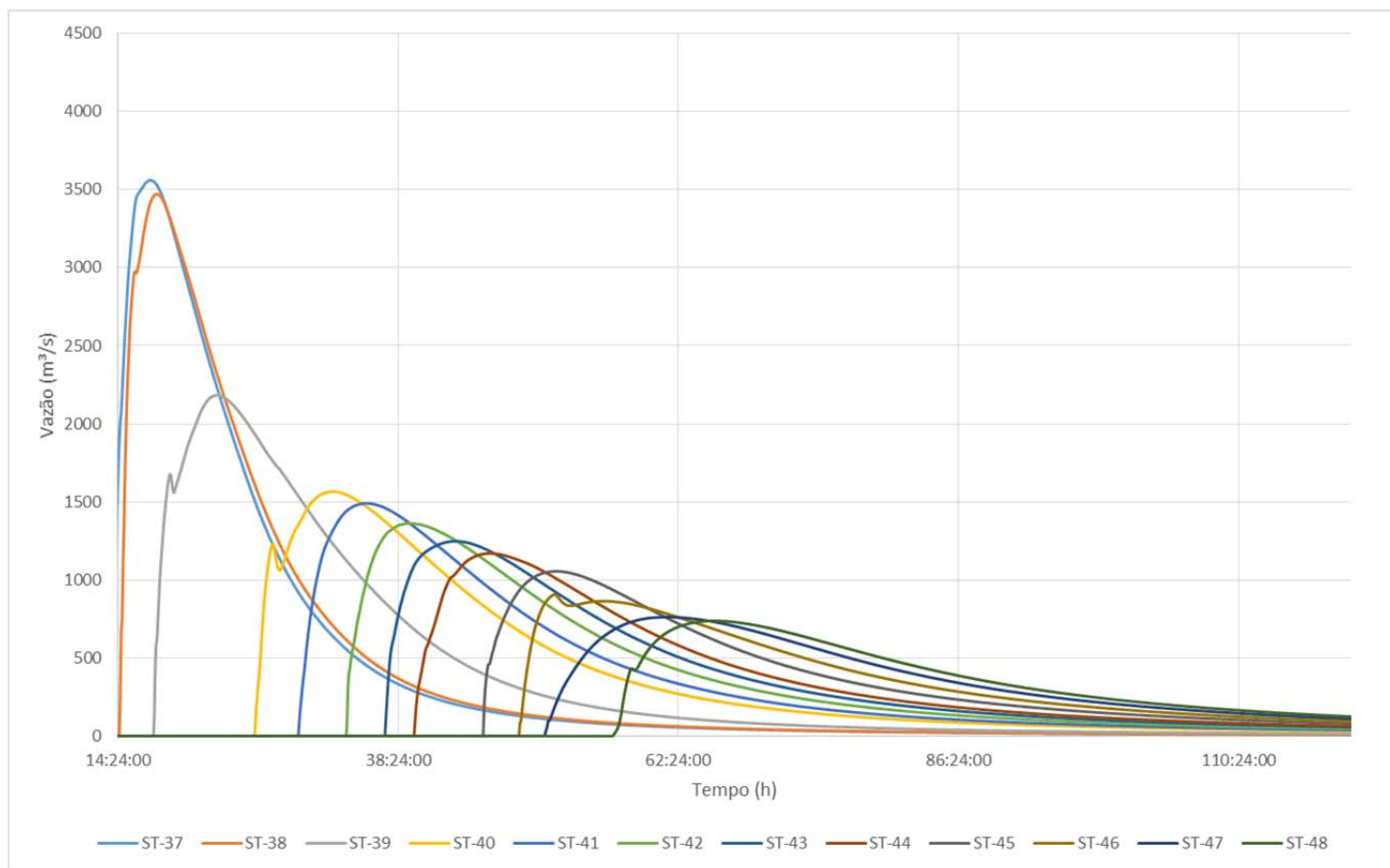


Figura 6.16 – Propagação da onda de ruptura, seções 37 a 48 – Cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
56/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

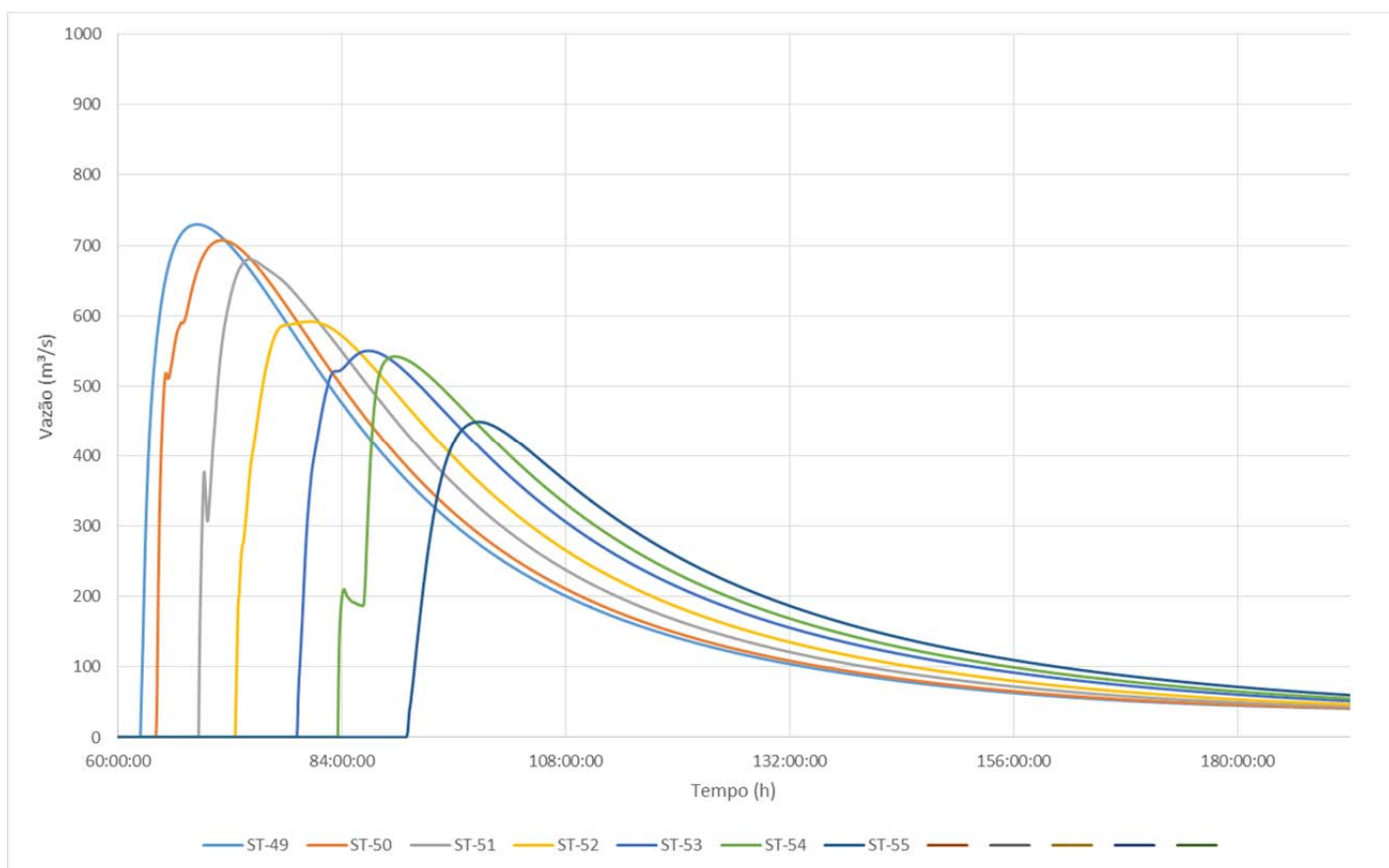


Figura 6.17 – Propagação da onda de ruptura, seções 48 a 55 – Cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
57/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

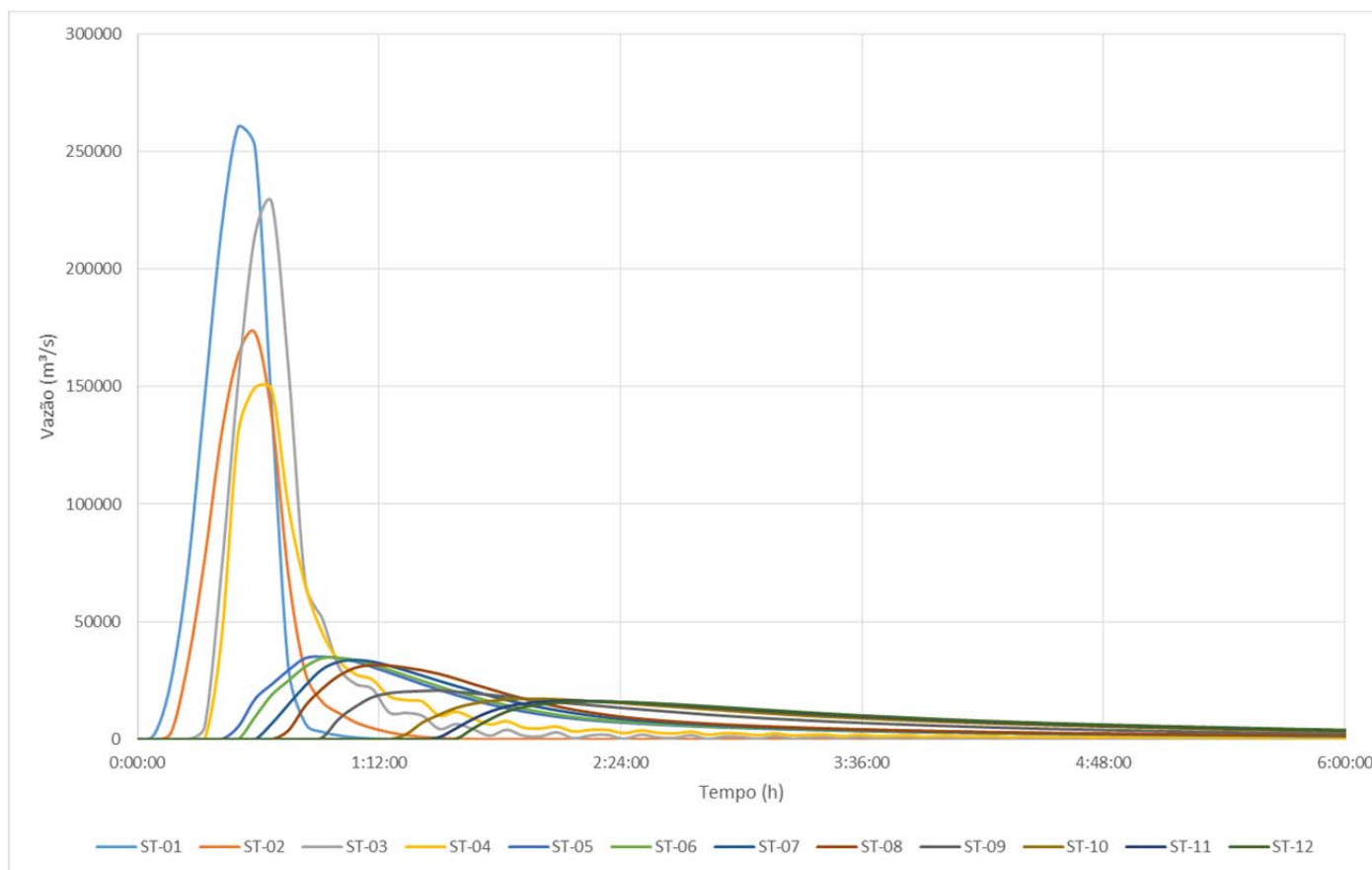


Figura 6.18 – Propagação da onda de ruptura, seções 1 a 12 – Cenário final

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
58/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

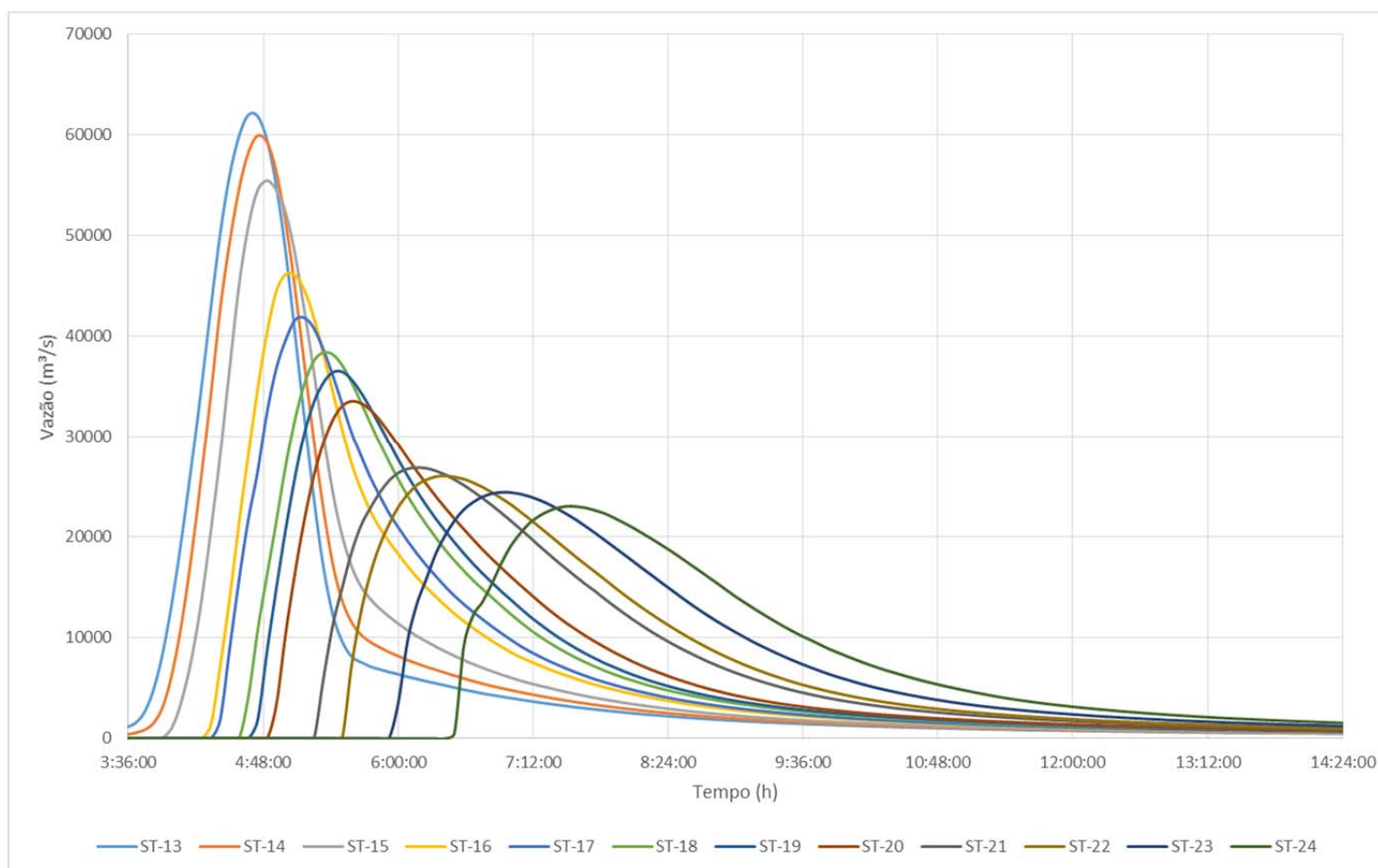


Figura 6.19 – Propagação da onda de ruptura, seções 13 a 24 – Cenário final

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
59/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

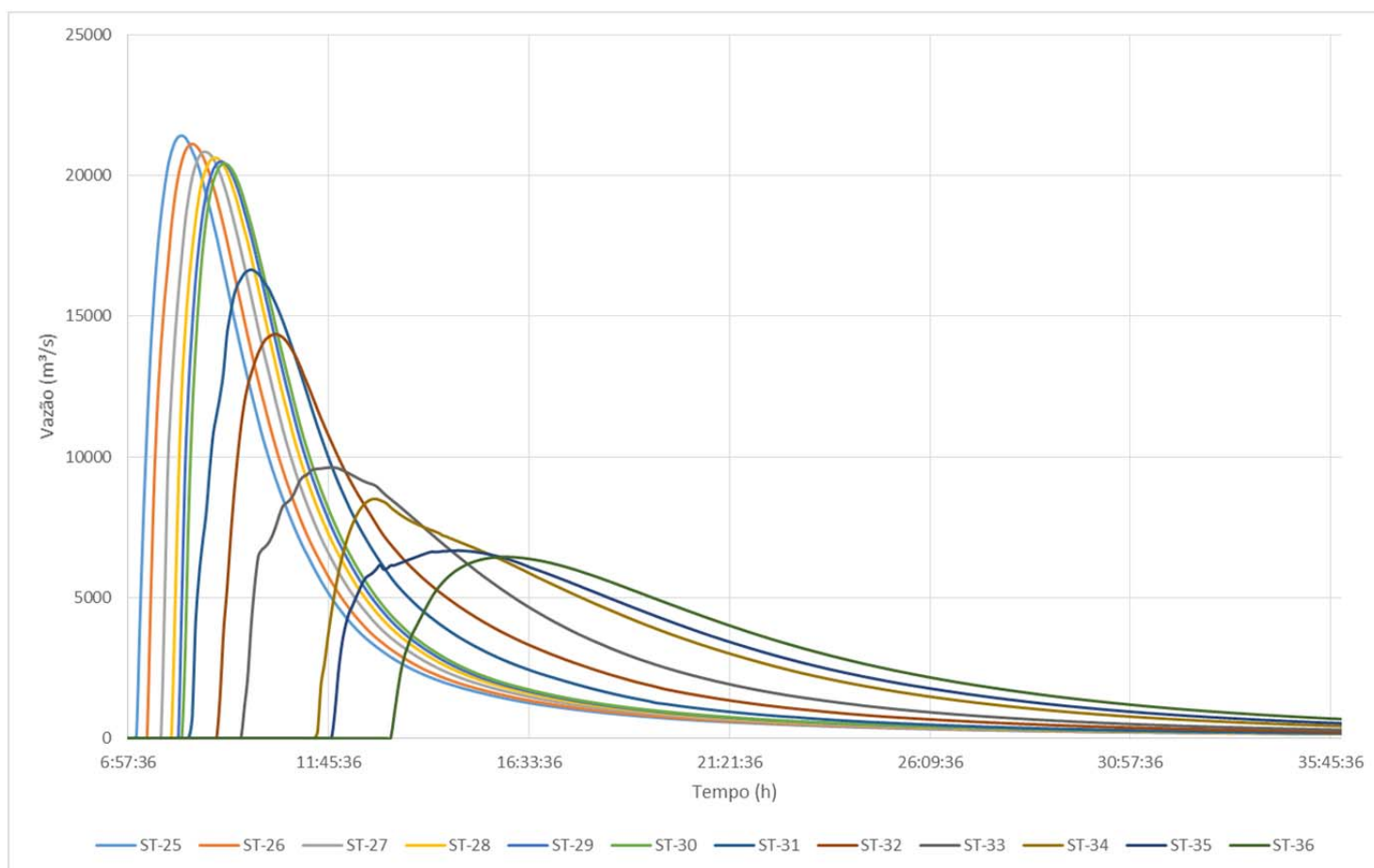


Figura 6.20 – Propagação da onda de ruptura, seções 25 a 36 – Cenário final

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
60/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

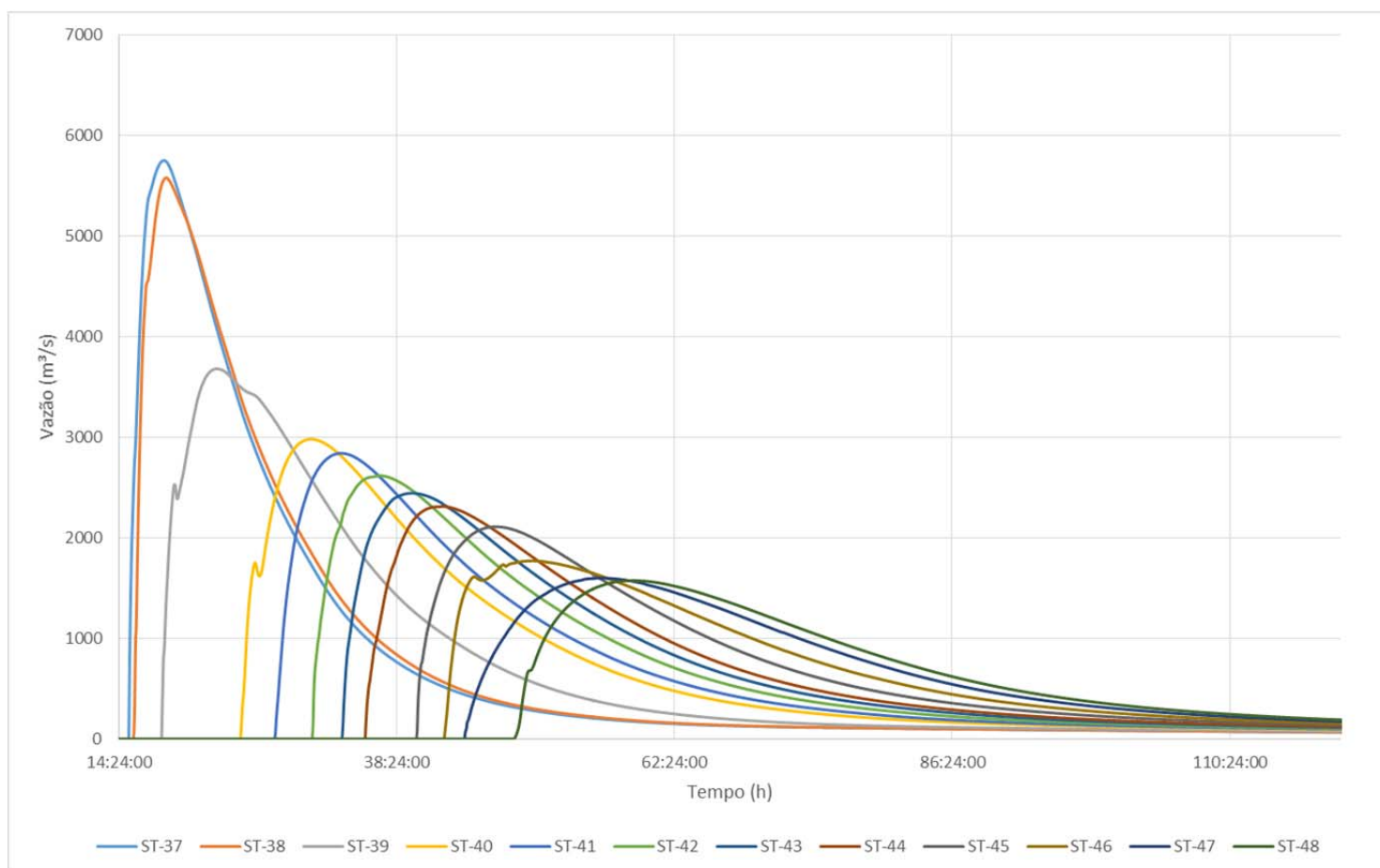


Figura 6.21 – Propagação da onda de ruptura, seções 37 a 48 – Cenário final

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15

Folha
61/67

WBH28-17-SAM-RTE-0015

Revisão
03

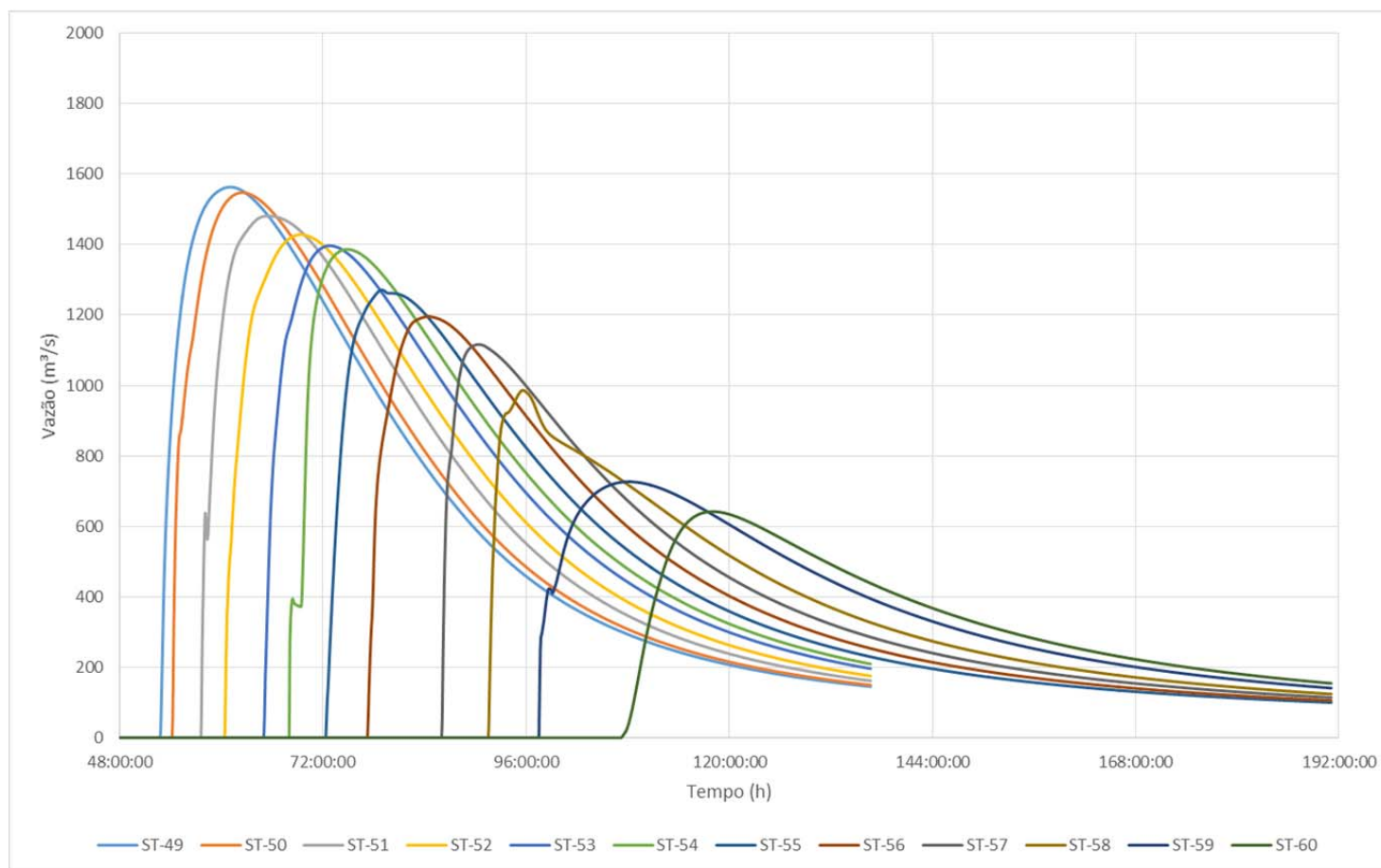


Figura 6.22 – Propagação da onda de ruptura, seções 48 a 60 – Cenário final

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-15</p>	<p>Folha 62/67</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0015</p>	<p>Revisão 03</p>

6.3 REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA

Foi verificada a seção em que a vazão do hidrograma de ruptura propagado era menor que a vazão com TR de 2 anos no rio Jequitinhonha. Portanto, o fim do mapeamento de inundação se deu na seção 55 (347 km a jusante da Barragem 1) para o cenário inicial e na seção 60 (399 km a jusante da Barragem 1) para o cenário final. Para o cenário inicial, a vazão do hidrograma de ruptura propagado na seção 55 é de 449 m³/s, menor que a vazão associada a um TR de 2 anos 494 m³/s nessa mesma seção. Já para o cenário final, a vazão do hidrograma de ruptura propagado na seção 60 é de 642 m³/s, menor que a vazão associada ao TR de 2 anos 705 m³/s nessa mesma seção.

6.4 DESCRIÇÃO RESUMIDA DO POTENCIAL DE INUNDAÇÃO

Os trechos inundados são caracterizados como terreno natural, sendo estas áreas de campo ou de mata, ao longo da calha dos rios, além de áreas antropizadas. Ao longo desses rios algumas vias, acessos (BR-341, BR-251, BR-367, BR-116 e MG-342, MG_105), pontes, travessias, benfeitorias isoladas e a cava da planta da SAM são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura do cenário inicial. Além desses pontos, quatro pequenos aglomerados urbanos são parcialmente atingidos. São eles, Coronel Murta, localizado na MG-342, Itinga, localizado na MG-367, Itaobim, localizado no cruzamento da MG-367 com a BR-116 e Jequitinhonha, localizado no cruzamento da MG-367 com a BR-116. No Cenário final, além dos acessos e aglomerados urbanos já citados, a Cidade Almenara, localizada na MG-367, é atingida.

6.5 MAPAS DE INUNDAÇÃO

Como resultado dos estudos de Dam Break da Barragem 1, foram gerados 13 mapas contendo as envoltórias máximas de inundação para os cenários simulados.

A lista de todos os mapas produzidos, com seus respectivos títulos e numerações, encontra-se na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Tabela de desenhos

NUMERAÇÃO SAM	NUMERAÇÃO WALM	DESCRIÇÃO
MINA_BLC8007-1010-O-91	WBH28-17-SAM-DWG-0091	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA INICIAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 01/06
MINA_BLC8007-1010-O-92	WBH28-17-SAM-DWG-0092	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA INICIAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 02/06

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 63/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

NUMERAÇÃO SAM	NUMERAÇÃO WALM	DESCRIÇÃO
MINA_BLC8007-1010-O-93	WBH28-17-SAM-DWG-0093	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA INICIAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 03/06
MINA_BLC8007-1010-O-94	WBH28-17-SAM-DWG-0094	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA INICIAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 04/06
MINA_BLC8007-1010-O-95	WBH28-17-SAM-DWG-0095	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA INICIAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 05/06
MINA_BLC8007-1010-O-96	WBH28-17-SAM-DWG-0096	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA INICIAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 06/06
MINA_BLC8007-1010-O-97	WBH28-17-SAM-DWG-0097	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 01/07
MINA_BLC8007-1010-O-98	WBH28-17-SAM-DWG-0098	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 02/07
MINA_BLC8007-1010-O-99	WBH28-17-SAM-DWG-0099	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 03/07
MINA_BLC8007-1010-O-100	WBH28-17-SAM-DWG-0100	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 04/07
MINA_BLC8007-1010-O-101	WBH28-17-SAM-DWG-0101	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 05/07

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 64/67
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

NUMERAÇÃO SAM	NUMERAÇÃO WALM	DESCRIÇÃO
MINA_BLC8007-1010-O-102	WBH28-17-SAM-DWG-0102	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 06/07
MINA_BLC8007-1010-O-103	WBH28-17-SAM-DWG-0103	BARRAGEM 1 - EL.890,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 07/07

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste documento são apresentados os estudos de ruptura hipotética da Barragem 1.

Os estudos de ruptura hipotética tiveram como foco a determinação do contorno de propagação da onda de ruptura, com a delimitação das áreas potencialmente inundáveis a jusante, de acordo com as premissas, critérios e metodologias descritas no presente documento.

A área a jusante da Barragem 1 delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo vale do córrego Lamarão, pelo rio Vacaria e pelo rio Jequitinhonha.

Para as análises de *Dam Break* da Barragem 1, foi considerado o cenário de ruptura considerando o nível de água NA normal e modo de falha como instabilização, para os cenários inicial, rompimento do dique inicial, cuja cota da crista encontra-se na El. 890,0 m e final, rompimento da barragem de fechamento com crista na El. 935,0 m.

Diante dos resultados obtidos a partir da simulação hidráulica da propagação da onda de cheia no vale a jusante da Barragem 1, é possível tecer os seguintes comentários:

- A máxima velocidade ficou em torno de 17,8 m/s para o cenário inicial e de 24,8 m/s para o cenário final, enquanto a profundidade máxima atingida foi de 59,6 m para o cenário inicial e de 100,7 m para o cenário final.
- O critério de parada adotado foi a capacidade de amortecimento do hidrograma de ruptura ao longo do rio Jequitinhonha até que a vazão seja menor que a vazão com TR de 2 anos do rio Jequitinhonha

Os trechos inundados são caracterizados como terreno natural, sendo estas áreas de campo ou de mata, ao longo da calha dos rios, além de áreas antropizadas. Ao longo desses rios algumas vias, acessos, pontes, travessias, benfeitorias isoladas e a cava da planta da SAM são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura. Além desses pontos, cinco pequenos aglomerados urbanos (Coronel Murta, Itinga, Itaobim, Jequitinhonha e Almenara) são parcialmente atingidos.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 65/67	
	WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03	

Foi verificado que o volume de trânsito de cheias da barragem do Rio Vacaria não é capaz de amortecer o hidrograma defluente da ruptura da Barragem 1 em nenhum dos cenários, ocasionando uma sobrelevação do nível de água no reservatório da barragem do Rio Vacaria desencadeando o processo de ruptura do maciço por galgamento.

Os resultados podem ser verificados nos mapas apresentados em Apêndice deste documento.

Recomenda-se para revisões futuras deste estudo de *Dam Break*, a obtenção de seções topobatimétricas do curso d'água a jusante para o refinamento da modelagem hidrodinâmica e das manchas de inundação estimadas. Também se recomenda um levantamento topográfico mais detalhado da região de jusante, para melhor representação dos resultados finais do estudo de ruptura. O recomendável seria a elaboração de um modelo digital de terreno (DEM – *Digital Elevation Model*) obtido a partir de um sistema de perfilhamento a LASER (ALS - *Airborne LASER Scanning*) ou Sistema para Mapeamento do Terreno por LASER Aerotransportado (ALTM - *Airborne LASER Terrain Mapper*).

Salienta-se que o presente estudo não engloba a pluma de turbidez contaminação ao longo dos corpos hídricos. Destaca-se que a mesma possivelmente terá uma extensão superior a mancha de inundação aqui determinada.

Cabe destacar que o Estudo de Ruptura Hipotética de Barragens está sujeito a incertezas e limitação, como por exemplo o dimensionamento e tempo de formação da brecha, definição do volume escoado para jusante, determinação do coeficiente de rugosidade do terreno, dentre outras.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 66/67
		WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

8.0 REFERÊNCIAS

FROEHLICH, D. C., TUFAL, M. Evaluation and Use of Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. In PROCEEDINGS OF THE ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION OF STATE DAM SAFETY OFFICIALS, Phoenix, 2004, 15 p.

FROEHLICH, D. C. 2008. Embankment Dam Breach Parameter and Their Uncertainties. Journal of Hydraulic Engineering, 2008 ASCE.

FROEHLICH, D. C. 2016. Empirical Model of Embankment Dam Breaching. International Conference on Fluvial Hydraulics. Saint Louis, EUA. 2016.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Brunner: Hydrologic Engineering Center (HEC), 547 p., 2018.

WASHINGTON (MGS Engineering Consultants), Dam Safety Guidelines, Technical Note 1: Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification, Washington State Department of Ecology Publication, No. 92-55E (revised), Washington, 34 p., 2007.

RICO, M.; BENITO, G.; DÍEZ-HERRERO, A. Floods from Tailing Dam Failures. Journal of Hazardous Materials, v. 154, p. 79-87. 2008.

VON THUN, J. L; GILLETE, D. R. Guidance on Breach Parameters. Não publicado. 1990.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-15	Folha 67/67
		WBH28-17-SAM-RTE-0015	Revisão 03

9.0 APÊNDICES

MINA_BLC8007-1010-G-RE-15_R03.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-91_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-92_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-93_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-94_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-95_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-96_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-97_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-98_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-99_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-100_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-101_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-102_R02.pdf
 MINA_BLC8007-1010-O-103_R02.pdf