SETOVI
MINERAÇÃO



PROJETO EXECUTIVO DE DRENAGEM SUPERFICIAL

MG

Junho 2026

ESTA FOLHA ÍNDICE INDICA EM QUE REVISÃO ESTÁ CADA FOLHA NA EMISSÃO CITADA

REV	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				REV	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
FOLHA														FOLHA													
01	X													46													
02	X													47													
03	X													48													
04	X													49													
05	X													50													
06	X													51													
07	X													52													
08	X													53													
09	X													54													
10	X													55													
11	X													56													
12	X													57													
13	X													58													
14	X													59													
15	X													60													
16	X													61													
17	X													62													
18	X													63													
19	X													64													
20	X													65													
21	X													66													
22	X													67													
23	X													68													
24	X													69													
25	X													70													
26	X													71													
27	X													72													
28	X													73													
29	X													74													
30	X													75													
31	X													76													
32	X													77													
33	X													78													
34	X													79													
35	X													80													
36	X													81													
37	X													82													
38	X													83													
39	X													84													
40	X													85													
41	X													86													
42	X													87													
43	X													88													
44														89													
45														90													

REV.	DATA	POR	EMISSÃO	APROVAÇÃO	DESCRIÇÃO DE REVISÕES
0	15/06/26	NRJ	B		EMISSÃO INICIAL CONCEITUAL
0	24/06/26	NRJ	B		EMISSÃO INICIAL PROJETO EXECUTIVO
3	13/08/26	NRJ	E		EMISSÃO FINAL PARA EXECUÇÃO
4	19/08/26	NRJ	E		CORREÇÃOTABELA 9 e VOLUMES ESCOADOS
5	25/08/26	NRJ	E		CORREÇÃO DOS PONDs

TE – TIPO DE EMISSÃO

(A) PRELIMINAR	(E) PARA CONSTRUÇÃO	
(B) PARA APROVAÇÃO	(F) CONFORME COMPRADO	
(C) PARA CONHECIMENTO	(G) CONFORME CONSTRUÍDO	
(D) PARA COTAÇÃO	(H) CANCELADO	

Sumário

1 OBJETIVO 5
2 LOCALIZAÇÃO 5
3 METODOLOGIA 6
3.1 Chuvas de Projeto 10
3.2 Determinação das bacias de contribuição 10
3.3 Tempo de Recorrência da chuva de projeto 11
4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS 11
4.1 Determinação das características das chuvas de projeto 14
4.2 Tempos de Concentração 16
4.3 Caracterização das áreas de contribuição 16
4.4 Risco hidrológico 17
4.5 Características físicas das bacias de contribuição 18
4.6 Transformação da chuva de projeto em vazões e escoamento superficial 18
5 ESTRUTURAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL 21
5.1 Critério e premissas adotadas no dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem 22
5.1.1 Canaletas de drenagem 23
5.1.2 – Descidas de água 25
5.1.3 Bacia de acumulação de sedimentos 26

Lista de Figuras

Figura 1- Vias de acesso fonte; Mapa Rodoviário de Minas Gerais, DNIT, 2020 5
Figura 2 – Arranjo geral do Empreendimento. Geometria e Projeto de Drenagem Superficial. Junho/2026. Fonte GE21, 2026. 6

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Estações pluviométricas pesquisadas. Base de dados dos estudos 7
Tabela 2 - Precipitações – Mensais e Totais Anuais 9
Tabela 3 - Base de dados para os estudos hidrológicos 12
Tabela 4 - Intensidade, Duração e Frequência, IDF, das Chuvas de Projeto referentes ao mês de JANEIRO, mês que apresenta as maiores as chuvas máximas 16

Tabela 5- Risco Hidrológico (%). 17
Tabela 6 - Características físicas e tempo de concentração das bacias de contribuição das descidas de água.....18
Tabela 7 - Fatores “C2”.....19
Tabela 8 – Descidas de Água, DA, e respectivas vazões de pico.....20
Tabela 9 - Volumes Escoados nas bacias de contribuição da geometria em cada chuva de projeto.Rev4 20
Tabela 10 - Vazões e dimensões das canaletas dos bancos.....24
Tabela 11 - Dimensões dos tubos e das caixas.....25
Tabela 12 - Volumes erodidos.....27
Tabela 13 – Classe para interpretação do índice de Erosividade Anual.....29
Tabela 14 - Área de contribuição com volumes de sedimentos gerados e lançados no POND. Estas áreas estão mostradas no desenho anexo 4.....32

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Registros Pluviométricos. Média anual 1.370,5 mm/ano 8
Gráfico 2 – Tempo de recorrência das precipitações máximas 14

1 OBJETIVO

Neste relatório é apresentado o Projeto Executivo da Drenagem Superficial do Projeto de Retaludamento da FAZENDA DOS MACHADOS (Projeto), Empreendimento SETOVI.

Neste relatório serão apresentadas as estruturas para coleta e condução dos deflúvios locais de forma segura e organizada para a drenagem da geometria projetada. Após a análise e comentários será apresentado o relatório final. A figura 1 mostra o local do projeto e a figura 2 mostra a geometria final que é objeto deste projeto.

As conclusões e projetos decorrentes dos estudos apresentados atendem às Normas Brasileiras notadamente:

- ABNT NBR 13029 Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha;
- ABNT NBR 13028 Mineração – Elaboração e apresentação de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água.

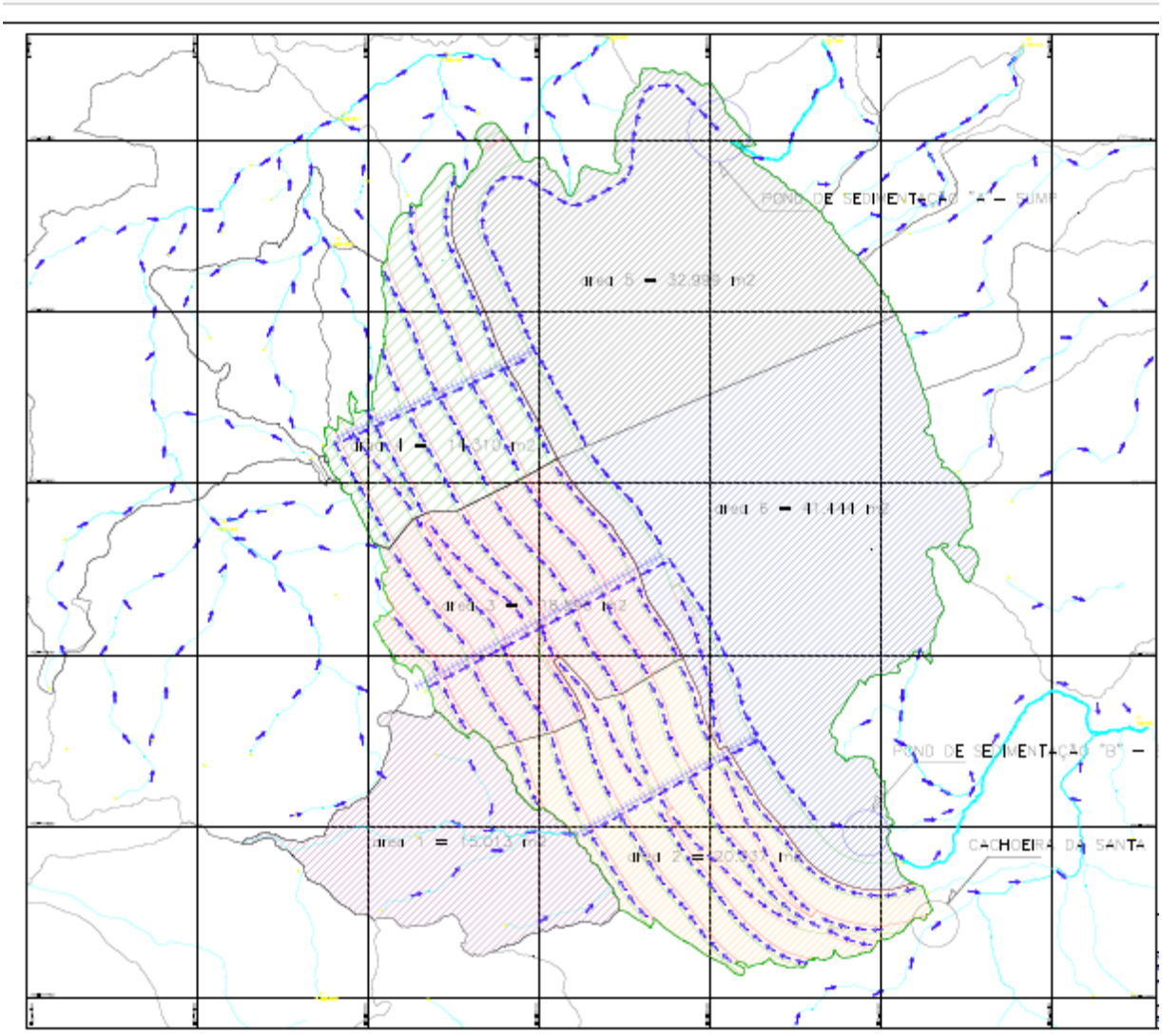
2 LOCALIZAÇÃO

O Empreendimento localiza-se no município de Catas Altas, MG, distante cerca de 120km de Belo Horizontes, MG.

Figura 1- Vias de acesso fonte; Mapa Rodoviário de Minas Gerais, DNIT, 2020



Figura 2 – Arranjo geral do Empreendimento. Geometria e Projeto de Drenagem Superficial. Junho/2026. Fonte GE21, 2026.



3 METODOLOGIA

Para elaboração dos estudos hidrológicos e dos dados de chuva, foram pesquisadas 3 estações meteorológicas, que compõem a rede de monitoramento climático da região.

Destas estações a escolhida foi de código 1943001, Estação Rio Piracicaba, responsabilidade da Agência Nacional de Águas, ANA, operadora SGB-CPRM, Serviço Geográfico Brasileiro, Companhia de Pesquisa e Recursos Naturais, localizada nas coordenadas geográficas Latitude -19,9228º e Longitude -43,1778º. Esta Estação apresenta base de dados consistentes com 83 (Oitenta e três) anos de registros pluviométricos, encontra-se a 27 km de distância o que confere confiabilidade e precisão dos resultados do estudo hidrológico.

Tabela 1 – Estações pluviométricas pesquisadas. Base de dados dos estudos

Dados Estação

Código	1943081
Nome Estação	RIO PIRACICABA - JUSANTE
Código Adicional	
Bacia	5 - ATLÂNTICO,TRECHO LESTE
SubBacia	56 - RIO DOCE
Rio	
Estado	MINAS GERAIS
Município	RIO PIRACICABA
Responsável	CONS.UHEGA
Operadora	CONS.UHEGA
Latitude	-19.8564
Longitude	-43.1197
Altitude (m)	561
Área de Drenagem (Km²)	

Dados Estação

Código	1943110
Nome Estação	PCH RIO PIRACICABA RIO TURVO
Código Adicional	
Bacia	5 - ATLÂNTICO,TRECHO LESTE
SubBacia	56 - RIO DOCE
Rio	
Estado	MINAS GERAIS
Município	RIO PIRACICABA
Responsável	ARCELOR
Operadora	ARCELOR
Latitude	-19.9967
Longitude	-43.2347
Altitude (m)	633
Área de Drenagem (Km²)	

Dados Estação

Código	1943001
Nome Estação	RIO PIRACICABA
Código Adicional	
Bacia	5 - ATLÂNTICO,TRECHO LESTE
SubBacia	56 - RIO DOCE
Rio	
Estado	MINAS GERAIS
Município	RIO PIRACICABA
Responsável	ANA
Operadora	SGB-CPRM
Latitude	-19.9228
Longitude	-43.1778
Altitude (m)	623
Área de Drenagem (Km²)	

Fonte https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas 08/06/2026

Na tabela 2 estão apresentados os volumes mensais e anuais de chuva registrados na estação Rio Piracicaba, código 1943001, que apresenta a média anual de precipitação de 1.370.5 mm de altura de chuva.

Gráfico 1 - Registros Pluviométricos. Média anual 1.370,5 mm/ano

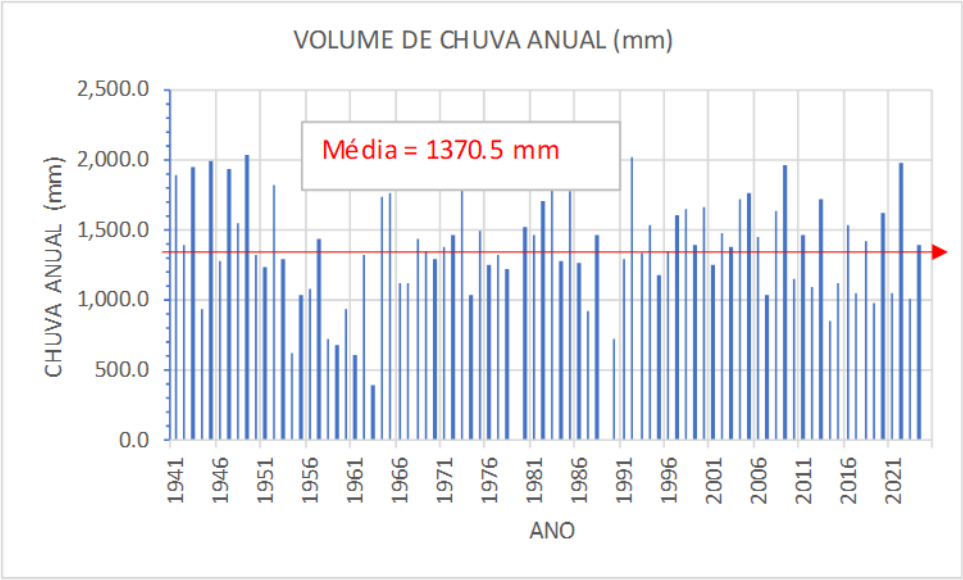


Tabela 2 - Precipitações – Mensais e Totais Anuais

PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS - TOTAIS MENSAIS E ANUAIS													
ANOS	JANEIRO	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANO
1941	320.8	324.2	241.2	92.4	6.2	7.8	54.2	18.0	163.6	116.8	177.6	371.1	1,893.9
1942	8.0	11.0	202.2	67.8	20.8	6.0	0.0	0.0	64.4	156.2	272.7	577.6	1,386.7
1943	385.6	126.0	243.9	56.0	88.8	20.2	0.0	23.2	16.2	420.4	142.8	420.4	1,943.5
1944	162.4	231.4	187.0	77.0	30.4	0.0	0.0	9.0	0.0	20.4	0.0	211.4	929.0
1945	563.6	119.0	271.4	6.4	19.8	21.6	0.0	4.2	84.0	105.4	356.0	442.0	1,993.4
1946	233.0	68.0	104.0	160.0	37.0	0.0	5.0	4.0	55.0	15.0	368.0	225.0	1,274.0
1947	195.0	202.0	451.1	25.0	41.0	0.0	39.0	53.0	54.0	173.0	217.0	480.1	1,930.2
1948	100.0	254.0	163.0	13.0	17.0	37.0	0.0	0.0	25.6	113.0	208.0	614.0	1,544.6
1949	500.3	441.0	66.0	196.6	18.0	55.3	0.0	0.0	0.0	201.3	250.1	307.8	2,036.4
1950	229.2	79.2	102.9	124.3	0.0	22.6	9.6	0.0	40.8	92.3	343.9	269.2	1,314.0
1951	198.6	252.0	344.1	52.0	29.0	0.0	0.0	7.4	0.0	46.8	27.5	284.6	1,242.0
1952	417.9	401.3	285.8	107.7	0.0	31.4	0.0	11.2	64.8	36.6	168.4	294.1	1,819.2
1953	111.6	339.9	102.8	62.0	41.8	17.8	0.0	2.4	85.6	83.1	161.4	289.5	1,297.9
1954	49.4	70.4	80.0	42.4	26.0	8.4	3.4	0.0	0.0	61.2	123.0	150.8	615.0
1955	194.6	67.0	47.6	132.9	24.2	23.6	0.0	0.0	0.0	135.2	110.2	300.0	1,035.3
1956	23.2	37.2	154.4	17.8	31.8	34.0	10.4	15.2	8.4	89.4	252.6	405.3	1,079.7
1957	158.4	214.6	165.2	191.2	44.0	0.0	6.0	0.0	49.6	30.2	290.2	290.4	1,439.8
1958	171.6	91.0	46.6	28.4	16.2	14.0	68.0	0.0	41.0	82.6	74.2	85.2	718.8
1959	80.6	64.0	129.8	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	121.0	137.0	138.5	680.1
1960	184.0	90.4	190.2	12.2	14.6	9.6	3.2	0.0	26.8	20.0	145.2	235.0	931.2
1961	270.0	71.2	15.8	79.8	26.0	6.4	0.0	2.0	0.0	7.0	37.2	96.6	612.0
1962	362.8	135.2	75.0	36.4	13.0	2.2	4.2	0.0	14.8	86.8	262.2	322.4	1,315.0
1963	59.4	74.8	8.8	5.2	0.0	6.6	0.0	2.0	0.0	51.8	79.6	107.8	396.0
1964	457.4	187.8	131.0	32.4	12.0	4.3	73.6	2.2	0.2	363.5	205.0	266.9	1,736.3
1965	254.2	329.8	223.0	26.8	71.4	8.2	10.2	4.4	26.8	429.6	199.6	174.2	1,758.2
1966	360.3	96.8	95.8	5.2	3.6	0.0	4.2	0.0	2.2	54.6	205.8	298.6	1,127.1
1967	212.0	180.6	178.7	12.2	0.0	0.0	3.4	0.0	19.0	44.0	284.0	190.0	1,123.9
1968	216.8	224.2	110.9	83.1	14.6	0.0	4.4	22.3	66.4	241.0	307.1	145.4	1,436.2
1969	265.7	105.7	107.8	15.1	9.0	46.3	2.5	3.5	39.1	109.6	312.8	329.2	1,346.3
1970	291.8	33.5	123.5	160.4	0.0	3.1	37.9	26.0	94.6	189.6	154.6	172.2	1,287.2
1971	118.8	46.8	95.1	98.6	17.6	71.9	13.6	23.0	135.7	201.2	441.9	118.0	1,382.2
1972	69.1	208.2	189.2	126.2	18.9	0.0	46.6	34.0	34.6	151.9	321.6	266.5	1,466.8
1973	255.7	98.5	436.7	21.9	20.0	15.5	1.0	13.4	17.0	189.2	345.2	372.3	1,786.4
1974	193.4	43.2	164.1	42.9	64.1	27.3	0.0	12.6	0.0	144.7	61.1	276.8	1,030.2
1975	304.8	212.5	26.8	164.8	65.4	21.6	39.1	0.0	21.1	187.3	369.5	71.5	1,484.4
1976	27.1	173.0	97.5	69.4	13.3	0.0	73.5	27.3	141.5	184.9	183.8	256.1	1,247.4
1977	415.0	32.6	107.9	78.2	4.2	2.2	0.6	3.7	84.5	100.2	195.9	299.2	1,324.2
1978	140.4	252.8	135.9	94.5	84.0	1.0	31.0	0.4	78.7	123.8	125.3	152.9	1,220.7
1980	475.6	116.1	56.6	187.3	21.2	18.8	7.6	21.7	9.2	26.5	207.1	368.4	1,516.1
1981	182.6	32.1	267.4	25.7	24.3	29.1	0.0	19.7	21.2	197.0	315.6	347.9	1,462.6
1982	419.6	44.4	582.7	37.9	43.5	0.4	7.3	8.2	122.5	51.5	41.0	343.5	1,702.5
1983	323.2	268.5	260.7	201.7	64.6	4.0	26.4	0.0	140.0	198.0	269.2	271.2	2,027.5
1984	127.0	7.2	171.8	30.8	0.0	0.0	5.4	76.7	56.8	95.2	196.2	509.2	1,276.3
1985	455.4	182.0	376.6	70.6	28.2	0.0	4.2	8.2	38.4	96.0	213.6	305.4	1,778.6
1986	180.3	169.7	20.0	38.9	63.1	13.5	47.5	65.2	4.5	34.5	257.8	367.2	1,262.2
1987	117.2	10.3	215.4	95.0	129.2	59.7	0.0	0.0	48.8	51.3	126.1	71.0	924.0
1988	69.0	487.3	0.0	193.0	49.9	34.3	0.0	2.1	8.0	100.1	257.6	259.2	1,460.5
1990	109.6	82.3	13.2	41.0	44.0	28.0	32.2	20.0	58.0	155.4	120.4	23.2	727.3
1991	416.8	110.0	262.9	13.3	0.0	6.3	0.0	0.0	68.7	94.8	166.8	155.5	1,295.1
1992	531.8	148.5	31.5	110.1	67.2	12.8	6.3	41.1	122.6	132.2	399.5	417.4	2,021.0
1993	71.9	47.8	116.6	18.0	12.0	28.0	0.0	116.0	285.0	90.3	137.7	408.5	1,331.8
1994	556.4	73.0	341.0	121.9	61.1	10.5	8.8	0.0	0.5	83.2	199.5	75.5	1,531.4
1995	0.0	0.0	167.7	60.1	18.0	4.7	3.1	0.2	35.5	112.1	257.8	512.6	1,171.8
1996	156.8	105.7	66.5	67.7	36.7	2.5	1.8	11.2	45.4	54.6	400.3	403.3	1,352.5
1997	338.5	47.7	377.1	67.9	34.6	31.0	3.4	9.8	64.4	123.4	225.8	279.2	1,602.8
1998	307.8	344.5	169.2	8.3	171.1	5.2	3.0	49.9	1.5	147.8	217.1	218.6	1,644.0
1999	256.9	57.5	285.8	35.3	3.2	6.5	3.7	0.0	14.9	98.6	305.4	317.1	1,384.9
2000	373.0	143.8	252.0	34.7	1.2	3.4	6.6	35.5	84.7	43.5	413.7	265.5	1,657.6
2001	112.3	12.6	124.1	1.9	37.9	2.3	2.1	9.0	180.6	85.8	324.7	355.1	1,248.4
2002	344.4	200.7	25.0	46.9	24.4	3.7	6.8	1.0	102.6	60.8	324.8	329.1	1,470.2
2003	477.0	56.5	165.5	81.0	12.0	3.6	5.8	26.1	37.1	67.1	181.3	269.6	1,382.6
2004	441.9	319.1	156.3	188.8	34.8	7.4	37.9	2.8	1.0	79.7	92.6	351.7	1,714.0
2005	264.7	195.0	341.9	22.6	41.9	27.1	3.0	2.4	128.4	42.8	358.1	330.7	1,758.6
2006	34.0	95.3	318.3	118.6	15.4	8.9	13.3	11.5	39.5	112.5	277.4	408.4	1,453.1
2007	272.2	132.1	50.5	77.4	11.8	5.3	5.0	0.6	3.9	159.9	158.3	153.6	1,030.6
2008	247.4	204.5	234.4	115.9	2.6	1.2	2.6	73.7	84.6	54.4	274.1	339.5	1,634.9
2009	441.0	230.0	191.2	147.7	9.6	52.1	0.9	4.8	115.5	269.7	130.6	364.3	1,957.4
2010	122.8	27.5	249.7	136.7	57.8	2.8	1.9	1.0	28.3	136.3	141.6	239.8	1,146.2
2011	177.9	30.3	248.2	68.0	15.2	14.8	3.6	0.8	5.4	166.6	345.5	391.9	1,468.2
2012	390.1	17.9	103.9	13.6	100.6	9.0	0.0	15.5	8.4	48.6	304.5	75.1	1,087.2
2013	319.6	86.0	267.2	94.6	62.4	36.1	0.0	1.1	22.2	130.6	256.4	445.0	1,721.2
2014	76.1	43.0	212.9	56.0	14.4	4.1	27.0	14.2	0.0	75.7	177.8	146.4	847.6
2015	22.5	106.8	84.8	176.4	56.2	20.2	27.4	1.7	38.6	61.0	223.4	294.8	1,113.8
2016	319.2	58.5	198.5	66.0	11.2	48.3	3.0	2.2	114.3	61.6	347.3	306.7	1,536.8
2017	129.7	189.8	145.5	7.5	39.6	3.4	0.4	0.0	13.2	43.6	264.2	219.8	1,056.7
2018	139.4	310.1	196.8	56.2	21.3	0.7	2.8	36.4	58.1	165.0	126.9	311.5	1,425.2
2019	75.4	155.6	162.9	99.0	21.3	3.2	0.0	4.6	14.5	61.1	239.0	139.7	976.3
2020	414.1	162.2	224.0	66.8	34.9	2.5	2.1	15.6	7.5	152.8	165.5	370.5	1,618.5
2021	115.0	31.8	31.8	47.7	0.8	7.5	0.0	3.8	22.9	268.1	316.9	200.1	1,046.4
2022	469.6	291.9	2.3	54.0	16.6	0.5	0.1	0.2	49.4	239.1	367.2	483.9	1,974.8
2023	142.7	11.4	35.1	7.5	0.2	17.2	41.9	21.2	153.4	130.8	128.8	287.8	978.0
2024	287.8	163.0	140.4	17.7	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	220.7	147.2	413.1	1,396.0

3.1 Chuvas de Projeto

Neste estudo é feita a determinação das chuvas intensas e os eventos chuvosos mais críticos, passíveis de ocorrência na região analisada. Portanto, torna-se necessária a escolha de uma estação pluviométrica, ou uma série de dados, que represente o comportamento das chuvas da área em foco.

Os dados de precipitação foram obtidos da estação meteorológica, localizada no Município de Rio Piracicaba, Estado de Minas Gerais. Estes dados compreendem, 83 (Oitenta e três) anos de registros pluviométricos. A estação encontra-se à 27 (vinte e sete) quilômetros do Empreendimento, portanto apresentam segurança e precisão dos dados de chuva empregados neste estudo.

Estes dados foram tratados com a metodologia estatística de Gumbel, discretizados mês a mês sendo então possível identificar o mês que ocorrem as maiores chuvas.

Com esta base de dados foram realizados os estudos hidrológicos e determinada a equação que representa as intensidades, a duração e o tempo de recorrência da chuva de projeto para o Retaludamento da FAZENDA DOS MACHADOS de Catas Altas.

Com as chuvas de projeto e respectivas características físicas das bacias de contribuição foram calculadas as vazões máximas (TR 100 e 500 anos) e as dimensões das estruturas de drenagem superficial mostrados no desenho ANEXO 6.

3.2 Determinação das bacias de contribuição

Esta determinação partiu da premissa em dividir os escoamentos decorrentes das chuvas de projeto com o objetivo de reduzir as vazões, os volumes escoados e consequentemente os riscos. Assim foram consideradas 6 (seis) bacias e 3 (Três) descidas de água.

A determinação das bacias de contribuição tem como base a topografia local e a geometria do Plano de Retaludamento da FAZENDA DOS MACHADOS fornecido SETOVI. Estes estudos foram desenvolvidos com o auxílio dos Softwares Auto CAD CIVIL 3D e teve como objetivo definir suas características físicas.

Analisando os dados digitais de terreno, o software transforma as vias de drenagem e limites de bacias hidrográficas em uma estrutura para entrada de dados hidrológicos. O programa permite

visualizar informações em 3D, caracterização das bacias hidrográficas, realizar análises espaciais, e delimitar sub bacias e caminhos das águas.

3.3 Tempo de Recorrência da chuva de projeto

Conforme recomendado pelas Normas Brasileiras, serão adotados os seguintes tempos de recorrência para a chuva de projeto:

a) 100 (cem) anos para dispositivos de pequena vazão, tais como canaletas, descidas de água e valetas para drenagem superficial;
b) 500 (quinhentos) anos para os canais periféricos de coleta e condução de águas superficiais.

4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os dados de precipitação obtidos da estação meteorológica, foram processadas com a metodologia estatística de Gumbel. Os resultados obtidos estão mostrados no gráfico 2 representando as precipitações e respectivas probabilidades de ocorrência, bem como a indicação do mês com a maior **chuva diária máxima**; JANEIRO**.**

Tabela 3 - Base de dados para os estudos hidrológicos

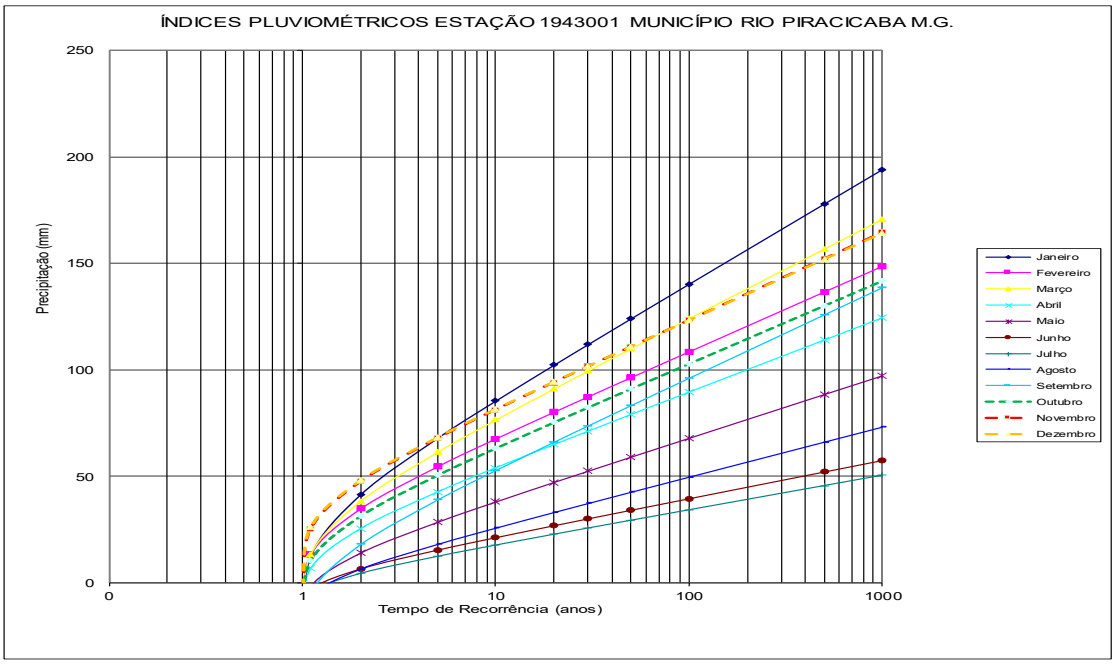
PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS -												
Código 1943001												
Nome Estação RIO PIRACICABA												
Bacia	ATLÂNTICO,TRECHO LESTE - RIO DOCE											
Estado MINAS GERAIS Município RIO PIRACICABA												
Responsável ANA Operadora SGB-CPRM												
Latitude -19.9228 Longitude -43.1778 Altitude (m) 623												
ANOS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
1941	67.0	91.4	92.2	32.6	6.2	7.8	44	12.4	90.8	39.8	46.4	75.9
1942	8.0	11	55.2	29	16.6	3	0	0	19.4	25	52.8	90.4
1943	72.0	48.2	60.5	16.6	78	14	0	20	10	75.8	42	75.8
1944	43.4	45	58.4	22.4	10.2	0	0	4.4	0	14.4	0	41.8
1945	90.6	38	58	6.4	12.2	20.6	0	4.2	35	18	44	43
1946	38.0	43	20	56	21	0	5	4	17	15	66	41
1947	60.0	52.0	78.0	10.0	13.0	0.0	21.0	18.0	23.0	29.0	38.0	75.0
1948	65.0	50.0	33.0	13.0	10.0	27.0	0.0	0.0	20.0	50.0	29.0	67.0
1949	86.0	100.0	42.0	50.0	18.0	15.0	0.0	0.0	0.0	45.0	90.0	42.0
1950	31.0	25.0	23.2	30.2	0.0	6.4	6.4	0.0	27.2	28.2	37.2	39.4
1951	32.4	36.6	37.0	27.6	29.0	0.0	0.0	7.4	0.0	21.6	14.3	42.6
1952	60.4	48.0	40.0	51.2	0.0	19.0	0.0	5.0	30.2	7.2	30.0	31.4
1953	34.4	33.0	30.0	33.0	31.0	10.6	0.0	2.4	28.0	21.0	30.2	31.0
1954	20.0	19.2	21.6	28.0	11.2	8.4	3.4	0.0	0.0	28.2	32.0	30.0
1955	38.0	42.0	23.0	38.6	24.0	23.6	0.0	0.0	0.0	30.0	26.0	35.0
1956	16.4	18.6	28.6	8.4	6.6	10.0	9.0	8.0	5.0	38.0	60.0	52.0
1957	34.0	38.6	35.6	50.0	16.0	0.0	3.0	0.0	11.2	15.4	29.0	27.6
1958	29.0	29.0	17.0	10.0	5.2	14.0	15.6	0.0	23.0	25.0	15.0	20.0
1959	15.0	22.0	21.6	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	21.0	27.6	20.4
1960	25.0	25.2	25.0	12.2	8.4	9.2	2.2	0.0	10.2	8.4	50.6	35.4
1961	50.0	28.0	4.6	20.0	15.0	4.2	0.0	2.0	0.0	4.2	10.4	12.2
1962	50.0	20.6	20.6	25.0	13.0	2.2	4.2	0.0	4.4	10.8	62.0	40.6
1963	28.0	22.6	8.8	5.2	0.0	3.2	0.0	2.0	0.0	33.6	19.0	42.0
1964	47.8	43.0	39.2	12.0	42.0	4.3	30.6	2.2	0.2	140.0	53.0	28.0
1965	44.0	65.0	65.0	11.6	52.2	4.4	5.6	4.4	13.0	70.0	40.0	36.6
1966	90.0	32.0	40.0	3.2	2.2	0.0	2.2	0.0	2.2	25.2	53.6	45.8
1967	61.0	64.0	54.6	4.0	0.0	0.0	3.4	0.0	19.0	21.0	67.2	44.6
1968	44.0	44.0	39.2	37.8	9.6	0.0	3.2	9.6	26.4	52.4	71.1	55.1
1969	63.1	45.0	26.6	12.0	9.0	25.8	1.3	2.2	26.2	22.2	44.0	76.8
1970	65.1	12.2	35.8	70.0	0.0	1.4	19.4	24.4	34.4	41.6	54.3	63.7
1971	70.8	20.3	37.0	39.4	14.6	46.6	13.0	22.2	90.0	29.6	71.8	27.6
1972	20.8	46.6	70.0	47.0	10.8	0.0	17.0	18.6	9.8	60.0	66.0	63.0
1973	145.0	29.4	71.0	18.4	10.0	15.4	0.8	11.0	10.0	35.8	51.6	76.0
1974	58.0	31.8	24.0	19.2	32.6	13.0	0.0	7.4	0.0	27.2	13.2	66.6
1975	71.0	55.8	9.6	49.2	60.2	19.0	18.0	0.0	7.5	65.6	64.2	14.8
1976	10.3	60.5	31.4	45.0	5.8	0.0	34.2	19.8	29.0	47.4	58.5	54.6
1977	98.0	30.6	37.4	45.2	4.2	2.2	0.6	3.6	32.6	48.6	48.2	36.8
1978	31.2	56.6	32.2	61.0	22.0	0.8	11.0	0.4	73.0	24.6	28.8	31.6

Obs. Não foram registrados na estação os dados de 1979.

Continuação da tabela 3.

PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS -												
Código 1943001												
Nome Estação RIO PIRACICABA												
Bacia	ATLÂNTICO,TRECHO LESTE - RIO DOCE											
Estado MINAS GERAIS Município RIO PIRACICABA												
Responsável ANA Operadora SGB-CPRM												
Latitude -19.9228 Longitude -43.1778 Altitude (m) 623												
ANOS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
1980	76.4	45.0	53.2	69.0	9.8	5.2	6.8	17.6	7.2	20.6	43.4	56.2
1981	45.8	17.3	60.0	10.8	8.0	11.6	0.0	11.5	21.2	40.6	71.4	57.0
1982	145.0	18.6	100.0	12.8	16.8	0.2	4.8	5.8	100.6	28.0	23.4	75.2
1983	38.6	40.0	50.0	35.0	17.0	3.0	21.2	0.0	29.4	40.0	75.0	44.2
1984	28.0	5.8	29.2	19.8	0.0	0.0	3.4	25.5	17.0	48.2	52.4	78.4
1985	98.0	50.0	69.0	28.0	14.8	0.0	2.2	3.2	11.2	35.4	53.6	60.0
1986	140.0	57.2	10.7	17.0	33.2	7.6	27.0	30.1	4.5	18.6	89.3	54.6
1987	36.3	10.3	62.4	30.0	54.0	29.0	0.0	0.0	20.0	17.5	60.0	30.0
1988	27.0	64.5	0.0	42.5	18.3	34.3	0.0	2.1	7.7	20.8	60.0	44.2
1990	40.0	13.0	8.2	15.0	24.3	10.0	10.5	20.0	24.0	28.4	32.0	16.5
1991	51.7	28.4	48.0	8.0	0.0	3.2	0.0	0.0	57.5	27.8	38.4	23.4
1992	87.6	43.2	15.0	42.0	39.0	8.0	6.3	23.4	25.0	34.2	68.4	74.2
1993	27.4	27.0	57.0	18.0	12.0	12.0	0.0	88.0	97.0	42.3	71.0	98.0
1994	81.0	67.5	88.0	40.8	36.5	6.5	8.5	0.0	0.5	22.0	36.0	23.0
1995	0.0	0.0	47.9	22.3	10.8	2.0	2.1	0.2	18.9	34.1	45.0	73.0
1996	49.2	25.1	26.3	54.0	17.2	0.4	0.2	4.4	11.3	20.3	62.4	67.5
1997	74.0	24.5	117.2	21.3	7.9	16.5	0.5	7.8	30.8	25.0	58.3	59.2
1998	62.0	116.0	57.4	2.7	65.6	1.0	0.6	34.0	1.3	30.7	31.0	43.5
1999	58.0	37.8	83.9	14.7	1.5	4.6	1.3	0.0	7.8	22.7	62.4	71.3
2000	59.9	56.0	46.0	22.2	0.6	0.9	2.8	22.3	24.9	21.1	63.8	75.7
2001	32.8	6.3	37.9	1.9	13.8	1.6	0.8	5.5	75.6	37.3	74.8	67.5
2002	66.3	41.6	13.9	21.0	20.0	0.8	3.8	0.6	21.1	19.6	101.8	76.2
2003	79.7	48.7	27.7	61.0	6.6	0.3	2.9	14.2	17.8	37.2	48.7	107.6
2004	62.9	36.8	27.8	59.1	15.7	1.7	12.7	1.5	0.2	29.3	38.4	70.4
2005	47.4	34.0	72.7	7.6	13.5	8.2	0.5	1.2	50.0	25.0	61.0	77.4
2006	12.7	53.6	86.5	55.0	9.5	4.2	10.5	8.9	21.4	28.6	31.0	51.4
2007	45.0	39.5	17.0	27.3	8.5	0.8	2.7	0.3	2.3	77.5	30.8	30.5
2008	35.9	65.2	83.5	33.9	1.5	0.3	1.4	39.3	35.0	22.5	57.3	43.3
2009	57.7	57.0	38.7	45.0	4.2	33.5	0.5	3.5	51.1	46.5	41.0	59.0
2010	41.1	15.4	68.9	43.5	18.0	0.5	1.3	0.4	11.4	36.7	41.5	41.2
2011	56.1	14.7	56.4	26.5	12.1	10.4	0.4	0.2	3.0	44.1	123.0	65.0
2012	69.2	6.8	34.1	8.0	49.7	8.7	0.0	14.0	4.5	16.1	35.0	20.8
2013	107.8	38.7	38.3	37.8	44.0	31.8	0.0	0.3	13.5	33.4	81.1	90.1
2014	33.5	12.0	41.6	22.3	5.5	1.9	14.4	11.0	0.0	26.7	38.9	31.0
2015	9.1	23.6	20.0	69.5	16.5	16.2	26.7	1.5	26.3	34.5	59.2	55.3
2016	59.8	20.1	80.0	49.9	5.3	18.2	0.9	1.9	47.2	15.0	80.0	55.0
2017	42.8	47.9	34.8	2.6	15.9	1.7	0.4	0.0	13.0	18.0	78.3	52.6
2018	58.1	80.0	34.9	21.7	18.5	0.5	2.8	14.2	38.7	58.0	43.0	63.0
2019	58.2	27.5	40.5	33.0	17.0	2.4	0.0	4.6	11.2	25.3	48.0	27.0
2020	118.5	39.0	52.0	24.5	10.0	2.5	1.6	11.7	5.5	53.0	40.0	62.0
2021	50.0	16.5	16.5	34.5	0.7	7.2	0.0	3.0	15.0	72.0	69.5	40.5
2022	107.5	37.2	2.3	15.3	12.5	0.5	0.1	0.2	22.0	67.2	104.0	87.0
2023	74.1	46.3	5.9	15.0	5.7	0.2	9.5	23.6	12.2	55.1	50.2	31.0
2024	64.0	33.0	32.9	15.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	52.0	55.0	50.0

Gráfico 2 – Tempo de recorrência das precipitações máximas



A identificação do mês com a probabilidade de precipitação máxima garante maior segurança no dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem. O gráfico 2 mostra que o mês com a chuva de maior precipitação é JANEIRO.

4.1 Determinação das características das chuvas de projeto

A determinação da relação Intensidade-Duração-Frequência (I.D.F.) que caracterizam as chuvas, é feita através de dados estatísticos dos valores extremos da distribuição das chuvas máximas registradas segundo o método de Chow-Gumbel. A análise das relações *I.D.F* permite a identificação de diferentes intervalos de duração da chuva, qual o tipo de equação e qual o número de parâmetros dessa equação que melhor caracterizam aquelas relações. Esta equação é usualmente definida por:

$$i = \frac{C}{(t + t_o)^n} \qquad \text{Equação (1).}$$

Onde *i* é a intensidade máxima média (mm/h) para a duração *t* da chuva, e t_o, *C* e *n* são parâmetros a serem determinados.

Como *C* pode ser relacionado com o período de retorno *T*,

$$C = KT^m \qquad \text{Equação (2).}$$

Substituindo a Equação 2 na Equação 1, obtém-se:

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + t_o)^c} \qquad \text{Equação (3).}$$

Os parâmetros, *K, a, t_o* e c *r*epresentam a relação IDF (Intensidade, Duração e Frequência) para a região estudada e são obtidos pela metodologia apresentada por MATTOS & VILLELA[1]. Para a determinação dos parâmetros da equação (3) são plotadas curvas de intensidade em função do intervalo de duração para cada tempo de recorrência. Considerando-se no eixo das abscissas os valores de tempo acrescidos de uma constante (t_0), as curvas passam por mudança de forma, podendo ser aproximadas por retas paralelas, de inclinação *n*. Essa anamorfose foi aqui obtida com t_o = 26,3. Os demais parâmetros são obtidos pelo método dos mínimos quadrados utilizando-se os coeficientes lineares destas curvas.

Encontrados e substituídos os valores[2], a equação 3 fica toma a seguinte forma:

$$i = \frac{1.001{,}4 \times T^{0.2553}}{(t+26{,}3)^{\,0.871}} \qquad \text{Equação (3)}$$

Onde:

i = Intensidade da chuva de projeto (mm/h)

t = Duração ou tempo de concentração da bacia (minutos);

T = Frequência ou tempo de retorno (anos).

Na tabela 4, estão mostradas as intensidades das chuvas de projeto a serem utilizadas no dimensionamento das estruturas da drenagem superficial a serem implantadas no depósito de material de corte.

[1] Mattos, A.;Villela, S. M. – *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975.
[2] Equação especialmente determinada por Engº Civil [redacted] para o Projeto.

4.2 Tempos de Concentração

Conforme metodologia adotada no livro “Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração” (PINHEIRO, 2011), o tempo de concentração pode ser calculado através da fórmula empírica de G. B. Williams, dada pela seguinte equação:

$$Tc = \frac{0{,}61\ x\ L}{A^{0{,}11} \times S^{0{,}20}} \qquad \text{Equação (4).}$$

Onde:

Tc é o tempo de concentração e duração da chuva, em horas;

L é o comprimento axial do talvegue principal, em km;

S é a declividade média do talvegue principal, em %;

A é a área de contribuição da bacia, em km².

Tabela 4 - Intensidade, Duração e Frequência, IDF, das Chuvas de Projeto referentes ao mês de JANEIRO, mês que apresenta as maiores as chuvas máximas

BACIAS			INTENSIDADE DA CHUVA (mm/h)						
PRINCIPAL	SECUNDÁRIAS	Tempo de concentração tc (min)	Tempo de recorrência (t anos)						
			1	2	5	10	50	100	500
Proj. Retaludamento Faz. Machados	BS1	2.4	53.9	64.3	81.2	97.0	146.2	174.5	263.2
	BS2	1.7	54.9	65.5	82.8	98.9	149.1	178.0	268.4
	BS3	1.6	55.2	65.9	83.2	99.3	149.8	178.8	269.7
	BS4	1.7	55.0	65.6	82.9	99.0	149.2	178.1	268.6
	BS5	22.2	34.1	40.7	51.4	61.4	92.6	110.5	166.6
	BS6	17.7	37.1	44.3	56.0	66.8	100.7	120.2	181.4

4.3 Caracterização das áreas de contribuição

As Bacias de Contribuição da geometria final e do terreno natural estão mostradas no desenho 2. Durante o avanço do projeto vão sendo modificadas até alcançar a geometria final projetada mostrada neste desenho.

As áreas das bacias de contribuição em estudo, foram obtidas da superfície tridimensional conforme metodologia descrita no capítulo 1 deste relatório. O escoamento pelos bancos da geometria projetada e talvegues naturais está mostrado no desenho 2.

4.4 Risco hidrológico

Define-se risco hidrológico, associado aos quantis de precipitação, como sendo a probabilidade de ser igualado ou superado pelo menos uma vez em um período (n) de anos. Notoriamente, esse período pode representar, por exemplo, a vida útil de uma dada obra hidráulica. A Equação 5, a seguir, apresenta a relação existente entre risco hidrológico, vida útil e tempo de retorno, sendo que a última variável está intimamente ligada ao conceito de probabilidade.

$$RH = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^{VU} \qquad \text{Equação (5).}$$

Em que:

- (RH) denota o risco hidrológico.
- (TR) denota o tempo de retorno, em anos.
- (VU) denota a vida útil da estrutura, em anos.

Ilustrativamente, a Tabela 5 apresenta valores de risco hidrológico como função do tempo de retorno e da vida útil. Essa tabela pode funcionar como um primeiro indicador para a gestão dos riscos frente à ocorrência de cheias e, por conseguinte, as tomadas de decisão em face das possibilidades de falha de estruturas hidráulicas.

Considerando a vida útil do projeto em 10 anos, a probabilidade do risco de superação da capacidade da estrutura devido à chuva de 100 anos é de 10%. (dez por cento).

Tabela 5- Risco Hidrológico (%).

Tempo de Recorrência (anos)	Tempo de operação do Empreendimento (anos)		
	5	10	20
1	100%	100%	100%
2	97%	100%	100%
5	67%	89%	99%

10	41%	65%	88%
50	10%	18%	33%
100	5%	10%	18%
500	1%	2%	4%
1,000	0%	1%	2%

4.5 Características físicas das bacias de contribuição

Para a determinação das características e dados físicos das bacias de contribuição da geometria proposta foi utilizada a base topográfica, a delimitação feita com emprego da metodologia apresentada no capítulo 1 deste relatório.

Foram consideradas as áreas de contribuição do terreno natural da geometria planejada, banco à banco. Estas áreas estão mostradas na tabela 6.

Tabela 6 - Características físicas e tempo de concentração das bacias de contribuição das descidas de água.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO													
BACIAS		ÁREAS				TALVEGUE					FATOR DE		TEMPO DE
							ELEVAÇÕES						
PRINCIPAL	SECUNDÁRIAS	CONTRIBUIÇÃO TOTAL	MATA	VEGETAÇÃO RASTEIRA	SEM RECOBRIMENTO	EXTENSÃO L	INÍCIO	FINAL	Área sob	DECLIVIDADE i	FORMA F	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	CONCENTRAÇÃO Tc
		(km²)	(km²)	(km²)	(km²)	(km)	(m)	(m)	Perfil	(m/ km)		(C)	(min)
Proj. Retaludamento Faz. Machados	BS1	0.015013	0.000000	0.010509	0.004504	0.232	942.5	893.7	5,661	210	1.68	0.23	2.4
	BS2	0.020337	0.000000	0.014236	0.006101	0.166	890.0	850.0	3,320	241	1.03	0.25	1.7
	BS3	0.018596	0.000000	0.013017	0.005579	0.175	910.0	850.0	5,250	343	1.14	0.24	1.6
	BS4	0.014310	0.000000	0.010017	0.004293	0.176	900.0	850.0	4,400	284	1.30	0.24	1.7
	BS5	0.032999	0.000000	0.023099	0.009900	0.556	840.0	838.0	556	4	2.71	0.21	22.2
	BS6	0.041444	0.000000	0.029011	0.012433	0.523	840.0	837.0	785	6	2.28	0.22	17.7

NOTA – Foram definidas 6 (SEIS) bacias de contribuição e 3(três) descidas de Água, DA.

4.6 Transformação da chuva de projeto em vazões e escoamento superficial

Para o estudo das vazões foi adotado o Método Racional Modificado, (I-PAY- WU), largamente empregado e aprovado em projetos similares. Este método apresenta as mesmas características do Método Racional e também faz referência ao Hidrograma Unitário Sintético de forma triangular.

Este método considera que o tempo de duração da chuva seja igual ao tempo de concentração, Tc (equação 4) da bacia de contribuição,

Hipótese assumida: Usa-se a fórmula racional para o cálculo da vazão de pico e acrescenta-se a consideração da redução da área de contribuição e a não-uniformidade de distribuição da chuva por toda a bacia através do fator "*K*".

$$Q_p = 0{,}278 \times C \times I \times A^{0{,}9} \times K \quad \text{Equação (6).}$$

Nota: Por se tratar de bacia de pequeno porte, recomenda-se a eliminação do expoente redutor de área e do fator *K* de não uniformidade de distribuição da chuva.

Na Equação 6 tem-se:

- *Qp* = vazão de pico em m3/s
- *I* = intensidade de chuva – mm/h (obtida com a equação 3)
- *A* = área da bacia de contribuição – km2
- *K = fator de redução da área de contribuição*
- *C* = coeficiente de escoamento superficial, dado por:

$$C = \frac{C_2}{2} \times \left(1 + \frac{1}{1+F}\right) \quad \text{Equação (7).}$$

$$F = 0{,}886 \times \frac{L}{A^{0{,}5}}$$

Sendo:

Onde C_2 é o coeficiente de escoamento volumétrico que depende da natureza e tipo de vegetação e terreno (Tabela 7);

F representa o fator de forma da bacia;

e *L* o comprimento do talvegue em km.

Tabela 7 - Fatores "C2"

C2 = Coeficiente de escoamento volumétrico		
MATA	VEGETAÇÃO RASTEIRA	SEM RECOBRIMENTO
0,1	0,3	0,4

O Tempo de Concentração (*T.c.*) é determinado usando-se a Equação 4

Com a metodologia descrita foram calculadas as vazões de pico nas bacias delimitadas, para tempos de recorrência com destaque para os compreendidos entre 100 e 500 anos. Os resultados são mostrados na Tabela 8.

Foi considerada como chuva de projeto aquela associada à intensidade cuja duração gera a maior vazão prevista para o mês mais chuvoso; JANEIRO.

Tabela 8 – Descidas de Água, DA, e respectivas vazões de pico

BACIAS		VAZÃO DE PICO (m³/s)						
PRINCIPAL	SECUNDÁRIAS	Tempo de recorrência (t anos)						
		1	2	5	10	50	100	500
Proj. Retaludamento Faz. Machados	BS1	0.05	0.06	0.08	0.09	0.14	0.17	0.25
	BS2	0.08	0.09	0.12	0.14	0.21	0.25	0.37
	BS3	0.07	0.08	0.10	0.12	0.19	0.22	0.34
	BS4	0.05	0.06	0.08	0.09	0.14	0.17	0.25
	BS5	0.07	0.08	0.10	0.12	0.18	0.21	0.32
	BS6	0.09	0.11	0.14	0.17	0.25	0.30	0.45

Estas vazões foram obtidas com emprego da equação 6 e para tempos de recorrência com destaque entre 1 e 500 anos. As colunas grifadas em vermelho representam os valores empregados neste projeto, conforme recomendado pelas Normas Brasileiras para estruturas de drenagem na mineração. Na tabela 9 estão mostrados os volumes de água que escoam durante as chuvas de projeto.

Tabela 9 - Volumes Escoados nas bacias de contribuição da geometria em cada chuva de projeto.

BACIAS		VOLUME ESCOADO (m³)						
PRINCIPAL	SECUNDÁRIAS	Tempo de recorrência, t (anos)						
		1	2	5	10	20	100	500
Proj. Retaludamento Faz. Machados	BS1	11	13	16	19	29	35	53
	BS2	12	14	18	21	32	39	58
	BS3	10	12	15	18	27	32	48
	BS4	8	9	12	14	21	26	39
	BS5	131	156	197	235	355	423	638
	BS6	146	175	221	263	397	474	715

Volume escoado TR 100 anos para o POND A (bacias secundárias BS4; BS5)	**449 m³**
Volume escoado TR 100 anos para o POND B (bacias secundárias BS1, BS2, BS3, BS6)	**580 m³**
TOTAL DO VOLUME ESCOADO PELA CHUVA DE PROJETO TR 100 ANOS DA CAVA CATAS ALTAS	**1 029 m³**

A somatória dos volumes escoados do projeto de Retaludamento da FAZENDA DOS MACHADOS, em cada chuva de projeto com Tempo de Retorno TR=100 anos é de 1.028,7 m³. De acordo com a premissa, todo este volume de água será direcionado para as bacias de sedimentação, denominadas POND. Para o POND "A", serão 449,0 m³. Para o POND "B", o volume é 579,7 m³. O efluente, após clarificação será devolvido ao meio ambiente, sempre à jusante das cachoeiras Maquiné e Santa. Estas bacias foram dimensionadas para a sedimentação dos sólidos sedimentáveis com o tempo de retenção de no mínimo 8 horas.

Sempre que necessário, os sedimentos devem ser removidos para manter as condições de sedimentação.

5 ESTRUTURAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL

Foram verificadas as seguintes estruturas convencionais de drenagem superficial para serem empregadas na drenagem superficial da área: descida de água com caixas de amortecimento e canaletas longitudinais nos bancos do projeto.

Estes estudos levaram em consideração as seguintes premissas:

- Distribuir o volume escoado, decorrente da chuva de projeto, em 3 descidas de água e 6 bacias de contribuição. Desta forma procurou-se dividir os fluxos sem concentrar grandes volumes de água numa mesma estrutura;

- A distância média entre as descidas de água de 140 metros, sendo 70 metros para cada lado;

- A declividade longitudinal dos bancos de 1%. A declividade transversal de 5%;

- Toda água contida no interior da geometria final projetada será lançada para as bacias de sedimentação, PONDs "A" e "B", onde após clarificação ser direcionada para o terreno natural. Considerar que o POND é a elevação mais baixa do banco do Retaludamento;

- O planejamento das operações deve considerar que parte da geometria esteja indisponível para a remoção durante o período chuvoso onde estarão instalados os PONDs;

- Deve ser previsto pela operação a "preparação para o período chuvoso" nos 2 meses que antecedem as chuvas. Devem ser executadas as obras e providências necessárias para o período das chuvas.

Os dispositivos de drenagens superficiais deste projeto, foram dimensionados incorporando as práticas já testadas e consagradas em projetos semelhantes.

As memórias de cálculos mostram os critérios utilizados para os dimensionamentos de coletores e condutores das águas superficiais que fluem sobre os bancos da geometria projetada e terreno natural. Em resumo, foram os seguintes os dispositivos de drenagem utilizados no projeto:

- Canaletas de drenagem ao longo dos bancos do projeto;
- Descidas de água na face dos taludes.

5.1 Critério e premissas adotadas no dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem

As estruturas de drenagem ora apresentadas caracterizam-se por duas condições: definitivas e provisórias. Quando apresentarem configuração final, isto é; não serão modificadas à médio e longo prazo devem ter a conotação de “definitivas”; caso contrário, “provisórias”.

O cálculo das dimensões dos dispositivos de drenagem definitivos, para a condução das vazões em conduto livre, fluxo uniforme, baseou se na fórmula de Manning, equação 8 a seguir:

$$V = \frac{1}{n} \times R_h^{\,0,667} \times I^{0,5} \qquad \text{Equação (8).}$$

Sendo:

V = velocidade em m/s;

n = rugosidade do material do canal;

Foram consideradas as seguintes rugosidades; solo n=0,1; Concreto n=0,013; aço n=0,01

Rh = Raio hidráulico;

I = declividade do canal m/m;

Para o canal em regime de escoamento uniforme, as dimensões foram obtidas pela equação 9:

$$Q = S \times V \qquad \text{Equação (9).}$$

Onde:

Q = vazão de pico em m³/s;

V = velocidade do fluxo – m/s;

S = seção (m2) do canal trapezoidal a ser utilizado é calculada pela equação 10:

$$S = \frac{B + b}{2} \times h \qquad \text{Equação (10).}$$

Onde:

B é a base maior do trapézio, *b* a base menor, e *h* a altura da lâmina d'água. Nas tabelas seguintes encontram se as dimensões necessárias à condução das vazões. O cálculo hidráulico do canal de drenagem apresenta fator de segurança 1,2, suficiente para as condições de risco do projeto.

Para o canal seção triangular foi empregada a equação 11;

$$S = \frac{B \times h}{2} \qquad \text{Equação (11).}$$

Sendo:

B a base do triangulo;

h sua altura correspondente.

5.1.1 Canaletas de drenagem

Estas canaletas localizam-se ao longo dos bancos da geometria projetada. Sua função será a coleta e condução das águas afluentes até as caixas das descidas de água. Serão construídas e implantadas conforme mostra o detalhe no desenho ANEXO 6. Os fluxos escoados serão direcionados para as descidas de água e em seguida lançadas no POND. Daí, após clarificação, serão direcionadas para o terreno natural e descartadas.

Para coletar e conduzir o fluxo de água nos taludes **definitivos** do projeto será necessário a implantação de declividades longitudinais e transversais ao longo dos bancos. Sua execução será com emprego de equipamento apropriado conformando o banco com declividade longitudinal de 1% e transversal com 5%.

As canaletas sobre os bancos concluídos e definitivos terão seção triangular. Serão executados sobre o solo compactado presente no banco, conforme mostrado no desenho ANEXO 6. Sua construção tem o objetivo de reduzir a velocidade, abrasividade e erosão do fluxo.

A canaleta triangular ao longo das bermas do projeto foi dimensionada para a vazão decorrente da chuva TR 100 anos.

Foi previsto que a velocidade de arraste do fluxo sobre os bancos apresentem módulos a fim de minimizar a sedimentação e ao mesmo tempo evitar erosão. As velocidades máximas admitidas são 1 m/s. Eventualmente, se existente, nas canaletas em rocha a velocidade média poderá alcançar até 2m/s.

As canaletas **provisórias no projeto,** implantadas ao longo dos bancos ainda em operação tem escoamento natural para o fundo da geometria projetada. Não apresentam seção hidráulica definida pois estão implantadas sobre o leito provisório. Seu escoamento será direcionado em direção ao fundo da geometria projetada e daí para o POND.

Tabela 10 - Vazões e dimensões das canaletas dos bancos

altura da lâmina (m)	área molhada (m2)	perímetro molhado (m)	raio hidráulico (m)	Largura da lâmina (m)	velocidade (m/s)	vazão (m3/s)
0.093	0.091	3.964	0.023	1.963	0.539	0.05
0.100	0.106	4.263	0.025	2.111	0.566	0.06
0.106	0.119	4.519	0.026	2.238	0.588	0.07
0.111	0.130	4.732	0.027	2.343	0.606	0.08
0.116	0.142	4.945	0.029	2.449	0.625	0.09
0.121	0.155	5.158	0.030	2.554	0.642	0.10

NOTAS- 1 - Rugosidade = 0,1 solo compactado; Declividade longitudinal = 1%; Declividade transversal = 5%. 2 – No ANEXO 1 estão apresentados o detalhamento de cálculo das canaletas de drenagem.

5.1.2 – Descidas de água

A característica da geometria projetada, com taludes, altas vazões e declividades, sugerem que as águas coletadas nos bancos da geometria planejada sejam conduzidas até o nível mais baixo através de estruturas denominadas descidas de água.

Para o Projetos, foram definidas 3 descidas de água. São apresentados no Anexo 1 seus cálculos e dimensionamentos hidráulicos.

A Descida de Água tubulada com caixas amortecedoras considera que serão implantadas em tubos de aço e/ou PEAD e equipada em cada banco com caixa em concreto armado para dissipação da energia cinética.
O desenho ANEXO 6, mostra com detalhes a caixa com a entrada e saída do fluxo. Como em cada banco ocorre a redução da energia cinética, a tubulação apresenta 2 diâmetros distintos; um na entrada (TUBO DA ADUTORA) e outro para a saída da caixa de dissipação de energia,(TUBO NA SAÍDA DA CAIXA).
À medida que a geometria projetada vai se aprofundando, a descida de água vai coletando e conduzindo o fluxo com vazão cada vez maior. Portanto, nos bancos superiores a descida de água tem a tubulação com diâmetro menor e vai aumentando progressivamente.
No Anexo 1 estão detalhados os cálculos e dimensionamentos das caixas e das tubulações.

Tabela 11 - Dimensões dos tubos e das caixas

DIMENSIONAMENTO TUBOS E DAS CAIXAS DE PASSAGEM PELAS BERMAS									
VAZÃO (m³/s)		DIÂMETROS COMERCIAIS (valores internos)				ALTURA DA ÁGUA NA CAIXA (m)	LARGURA DA CAIXA (m)	COMPRIMENTO DA CAIXA (m)	OBSERVAÇÃO
Em marcha	No tubo	TUBO DA ADUTORA		TUBO NA SAÍDA DA CAIXA					
		(metro)	(polegada)	(metro)	(polegada)				
0.15	0.15	0.200	8	0.25	10	1.20	1.20	1.20	TUBO ÚNICO
0.16	0.16	0.200	8	0.25	10	1.37	1.37	1.37	
0.17	0.17	0.200	8	0.25	10	1.54	1.54	1.54	
0.18	0.18	0.250	10	0.25	10	1.73	1.73	1.73	
0.19	0.19	0.250	10	0.31	12	0.77	0.77	0.77	
0.20	0.20	0.250	10	0.31	12	0.90	0.90	0.90	
0.21	0.21	0.250	10	0.31	12	1.00	1.00	1.00	
0.22	0.22	0.314	12	0.31	12	1.09	1.09	1.09	
0.23	0.23	0.314	12	0.31	12	1.19	1.19	1.19	
0.24	0.24	0.314	12	0.31	12	1.30	1.30	1.30	
0.25	0.25	0.314	12	0.31	12	1.41	1.41	1.41	
0.26	0.26	0.314	12	0.36	14	0.80	0.80	0.80	
0.27	0.27	0.364	14	0.36	14	0.87	0.87	0.87	
0.28	0.28	0.364	14	0.36	14	0.93	0.93	0.93	
0.29	0.29	0.364	14	0.36	14	1.00	1.00	1.00	
0.30	0.30	0.364	14	0.36	14	1.07	1.07	1.07	
0.31	0.31	0.364	14	0.36	14	1.14	1.14	1.14	

Nota – recomenda-se que os tubos sejam fabricados em aço USI SAC 41/ similar. Este aço tem a propriedade de resistência à corrosão atmosférica e compatível com as elevadas cargas a que estarão submetidos.

Os quantitativos referentes a instalação das estruturas hidráulicas são apresentados na forma de Planilha de quantidade em anexo.

5.1.3 Bacia de acumulação de sedimentos

No fundo da geometria projetada, estão previstos PONDs, com a finalidade de sedimentação e amortecimento dos volumes escoados. Será escavado no terreno natural na menor elevação da geometria planejada. Deverá ter capacidade para amortecer o volume da chuva de projeto considerando a margem de segurança 100% (vide probabilidades da tabela 5) à mais para a provável ocorrência do “repique” da chuva de projeto e assim garantir a qualidade do efluente à ser lançado no terreno natural, sempre à jusante das cachoeiras.

No desenho ANEXO 6 encontra-se o projeto destas bacias para as seguintes capacidades:

POND	Volume escoado pela chuva de projeto TR 100 anos	Capacidade nominal do POND considerando o repique da chuva de projeto
A	449,0 m³	898,0 m³
B	579,7 m³	1.159,4 m³

É recomendado a implantação de dois PONDs A e dois PONDs B; enquanto um deles encontra-se em operação, o outro estará em manutenção. Ver detalhes construtivos dos PONDs no desenho ANEXO 6.

O tempo de retenção do escoamento superficial será de no mínimo 8 horas, suficiente para a sedimentação dos sólidos. Sempre que necessário o sólido retido deve ser removido e enviado para a depósito de material de corte.

Durante a evolução do projeto, os bancos inferiores evoluem e modificam sua forma, localização e dimensão, cuidando para o lançamento dos efluentes das bacias de sedimentação, PONDs, sejam sempre direcionados para jusante das cachoeiras.

Potencial erosivo da área

Para o dimensionamento do POND, será considerado a erosão dos taludes, bermas e acessos da área do projeto, resultado da ação dos fenômenos naturais, vento e água sobre a superfície.

Na mineração este fenômeno adquire importância e maiores preocupações, pois são decorrentes principalmente devido às precipitações pluviométricas e das altas declividades representadas pelos taludes da geometria planejada.

Os dados para os estudos aqui apresentados foram obtidos durante o monitoramento das quantidades de solo erodido durante os períodos chuvosos na Mina de Águas Claras, propriedade da Minerações Brasileiras Reunidas, MBR, no município de Nova Lima, MG, durante os anos de 1992 a 1995[1].

Os dados então obtidos foram condensados na tabela 12.

Tabela 12 - Volumes erodidos.

Precipitação pluviométrica média (mm)	Resistência do solo (coesão)	Declividade (graus)	Volume erodido	
			m³	Toneladas
1.350	400	45	20m²/ha/ano	40t/ha/ano
	40		100m³/ha/ano	250t/ha/ano
	20		250m³/ha/ano	625t/ha/ano
	0		500m³/ha/ano	1.250t/ha/ano
1.500	400		25m²/ha/ano	50t/ha/ano
	40		550m³/ha/ano	1.375t/ha/ano
	20		700m³/ha/ano	1.750t/ha/ano
	0		1.000m³/ha/ano	2.500t/ha/ano
1.600	400		30m²/ha/ano	60t/ha/ano
	40		800m³/ha/ano	2.000t/ha/ano
	20		1.300m³/ha/ano	3.250t/ha/ano
	0		2.000m³/ha/ano	5.000t/ha/ano
1.700	400		35m²/ha/ano	70t/ha/ano
	40		800m³/ha/ano	2.000t/ha/ano
	20		1.300m³/ha/ano	3.250t/ha/ano
	0		2.000m³/ha/ano	5.000t/ha/ano

[1] Autor: Engº [redacted]

Fundamentação técnico científico

Com a finalidade de apresentar a fundamentação técnico científica representativa deste monitoramento foi elaborada a retro análise destes dados. Existem diversos estudos para a estimativa deste potencial, dos quais o modelo *Universal Soil Loss Equation* (USLE), equação 13, se mostrou mais indicado para a representação dos resultados:

$$A = R\ K\ L\ S\ C\ P \qquad \text{Equação (12).}$$

- Onde:
- A= Perda de solo (t/ha), conforme tabela 13
- R = fator erosividade da chuva (MJ. mm /ha.h.ano)
- K = fator erodibilidade do solo (t.ha.h/ ha.MJ.mm)
- L = Fator Comprimento de encosta (adimensional)
- S = fator grau de declive (adimensional)
- C = fator uso e manejo (adimensional)
- P = fator prática conservacionista (adimensional)
-

Nota: MJ = Megajoule expressa a grandeza escalar da energia cinética.

Determinação da erosividade das chuvas – fator (R)

Para a determinação deste parâmetro será empregada a seguinte metodologia:

Primeiramente será calculado o índice de erosividade, *EI*, conforme equação 14.

$$EI = 89{,}823\left(\frac{p^2}{P}\right)^{0{,}759} \qquad \text{Equação (13).}$$

Onde:

- EI - índice de erosividade média mensal (MJ.mm/ha/h);
- *p* - precipitação média mensal (mm);
- P - Precipitação média anual (mm).
- O fator R é a somatória de EI, discretizada mês a mês.

$$R=\sum EI \qquad \text{Equação (14).}$$

Onde:

- R - Erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano);
- EI - índice de Erosividade média mensal (MJ.mm/ha.h. mês).
-

R = 1.366,2 MJ.mm/ha/h

Nota – vide ANEXO 1 – Cálculos do fator “R”

Tabela 13 – Classe para interpretação do índice de Erosividade Anual

Erosividade (MJ mm ha $^{-1}$ ano $^{-1}$	Classe de Erosividade
R ≤ 2.452	Erosividade Fraca
2.452 < R ≤ 4.905	Erosividade Moderada
4.905 < R ≤ 7.357	Erosividade Moderada à Forte
7.357 < R ≤ 9.810	Erosividade Forte
R ≤ 9.810	Erosividade muito Forte

Fonte – Carvalho (2.008)

Pela tabela acima, e com as providências e implantação dos dispositivos de drenagem, a área em estudo apresenta “Erosividade Fraca”.

Dados hidrológicos

Os estudos hidrológicos para a determinação dos parâmetros “p” precipitação média mensal e “P” precipitação média anual, foram obtidos com o emprego da metodologia descrita no capítulo 2 deste relatório.

Fator de erodibilidade do solo (k)

Este fator representa a resistência do solo ao processo erosivo e foi determinado em campo durante a ocorrência das chuvas.

$$K = (\frac{\%\ areia + \%\ silte}{\%argila})/100 \qquad \text{Equação (15).}$$

Onde:

- K = fator de erodibilidade do solo e rocha (t.ha.h/ ha.MJ.mm);
- Areia = 0,5%
- Silte = 5%
- Argila = 94,5%

$$K = (\frac{0{,}5 + 5\ silte}{94.5})/100$$

K = 0,000265

Fator L e Fator S

O fator L e o fator S que representam o efeito da topografia na erosão do solo (Renard et al., 1997). Os fatores L (comprimento da encosta) e S (declividade da encosta) foram obtidos diretamente da geometria projetada. Este fator, relacionado ao relevo, infere na intensidade do escoamento superficial, e por consequência, no grau de perdas de solos (Sousa & Paula, 2019).

Para obtenção do fator LS, optou-se pela metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2012), que considera a integração da declividade em porcentagem e o comprimento de rampa em metros, conforme a Equação 17.

A declividade é a relação entre o desnível e a distância entre pontos da bacia através do levantamento topográfico e foi considerado 45 graus.

$$LS = 0{,}00984\ x\ C\ x\ D \quad \text{equação (16)}$$

Onde:

LS =Fator topográfico;

C = comprimento da rampa 600 (metros);

D = Fator de declividade 100 %

LS = 590.4

Fator cobertura vegetal e práticas conservacionistas (CP)

O fator C é usado para aferir o efeito das práticas de manutenção da face dos taludes, ou seja, está diretamente relacionado ao uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo. O fator referente à prática conservacionista (P) mede a relação entre a perda de solo e determinadas ações conservacionistas. (Wischmeier & Smith, 1978).

Conforme Borges (2009), os fatores C e P podem variar ao longo dos anos como consequência das mudanças na forma e intensidade deste uso e assim, assumir o valor até 1 para solo nu e valores menores que 1 conforme o aumento da cobertura do solo, o que implica menos erosão do solo (Pimenta, 1998).

Levando-se em conta que as práticas conservacionistas e a firme decisão da alta Gerência da Mina do Baú em manter as condições de drenagem da geometria projetada em bom estado, estes parâmetros foram considerados igual à 0,50.

Substituindo os valores encontrados na equação 12:

$$A = R\ K\ L\ S\ C\ P$$

$$A = 1.366{,}2 \times 0{,}000265 \times 590{,}4 \times 0{,}5$$

A = 106,7 t/ha/ano

A = 53,4 m³/ha/ano

Resultados

Estão apresentados em anexo, desenho ANEXO 4, as bacias de contribuição com suas respectivas áreas e declividades empregadas para o cálculo dos fatores que resultaram no valor da equação 12.

Conforme proposto por Wischmeier e Smith (1978), será utilizado o índice pluviométrico de intensidade máxima com Tempo de Recorrência de 500 anos, chuva com duração conforme tempo de concentração, dos estudos hidrológicos.

Conforme recomendado, os dados das estações meteorológicas a serem empregadas neste estudo devem possuir séries históricas de no mínimo 20 anos. A estação meteorológica empregada neste estudo tem dados históricos de 83 (0itenta e três) anos, o que garante a confiabilidade nos resultados obtidos

A taxa média anual calculada neste capítulo é da ordem de 106,7 t/ha/ano, ou 53,4 m³/ha/ano.

Tabela 14 - Área de contribuição com volumes de sedimentos gerados e lançados no POND. Estas áreas estão mostradas no desenho anexo 4.

VOLUMES DE APORTE ANUAL DE SEDIMENTO NO SUMP					
BACIAS		ÁREAS DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO		APORTE ANUAL DE SEDIMENTOS NO SUMP	
PRINCIPAL	DESCIDAS DE ÁGUA	(km^2)	(ha)	t/ha	m^3/ha
Proj. Retaludamento Faz. Machados	BS 1	0.015	1.50	160.19	80.17
	BS 2	0.020	2.03	217.00	108.60
	BS 3	0.019	1.86	198.42	99.30
	BS 4	0.014	1.43	152.69	76.42
	BS 5	0.033	3.30	352.10	176.21
	BS 6	0.041	4.14	442.21	221.31
	Volume anual de aporte de sedimento			1,522.60	762.01

NOTA: Recomenda-se que sejam monitorados os volumes erodidos para a calibragem do modelo ora proposto.

Este volume retido no POND deve ser removido durante o período seco ou quando necessário para manter as condições de sedimentação prevista.

6 CONCLUSÕES

Grande parte da água originada na base da serra do Caraça já possui seu direcionamento de maneira natural não impactando na área a ser reconformada.

Sendo assim o projeto em anexo recomenda que a coleta e o direcionamento da água de origem externa a área a ser tratada seja direcionada pelas estruturas hidráulicas que serão instaladas nos taludes finais da recuperação.

Toda água será direcionada para PONDs internos a área tratada onde, após clareamento e precipitação dos sólidos arrastados, esta verta naturalmente para o meio ambiente.

Os PONDs deverão ser vistoriados e limpos periodicamente para que suas operações sejam mantidas.

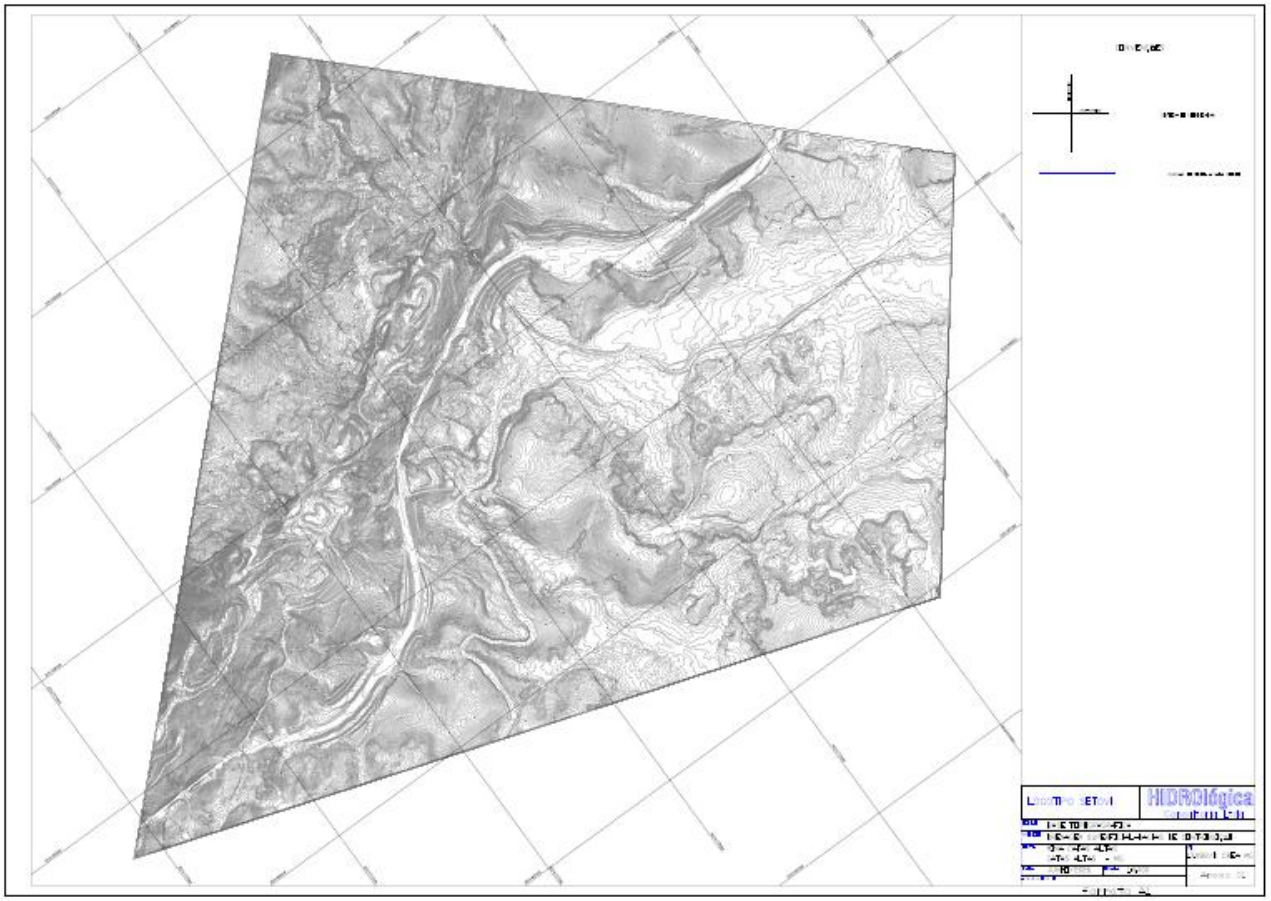
Belo horizonte, 23 de junho de 2026.

[redacted]

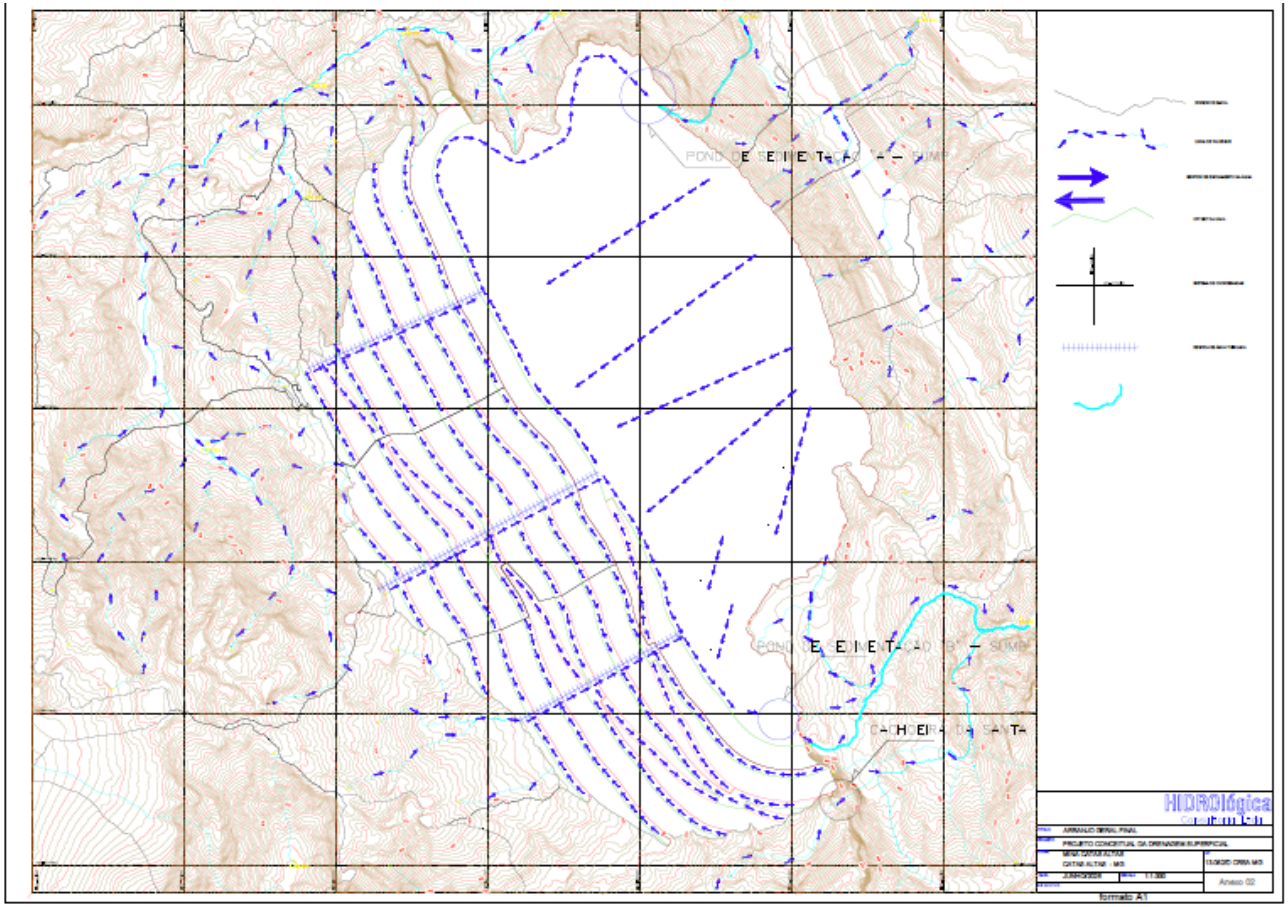
GHT – Geologia e Hidrogeologia

ANEXOS

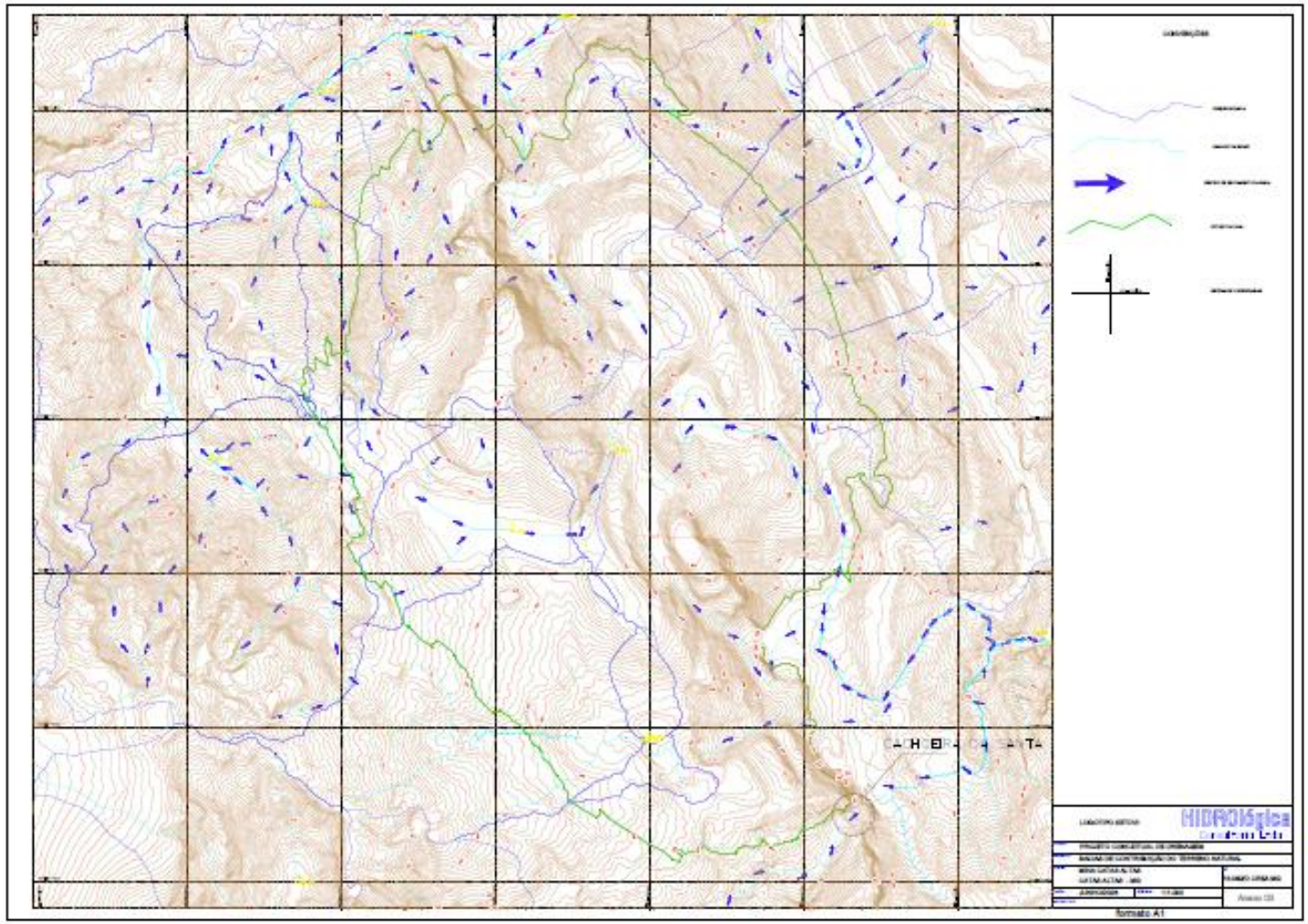
(NOTA - os desenhos estão apresentados em anexo no formato A1)



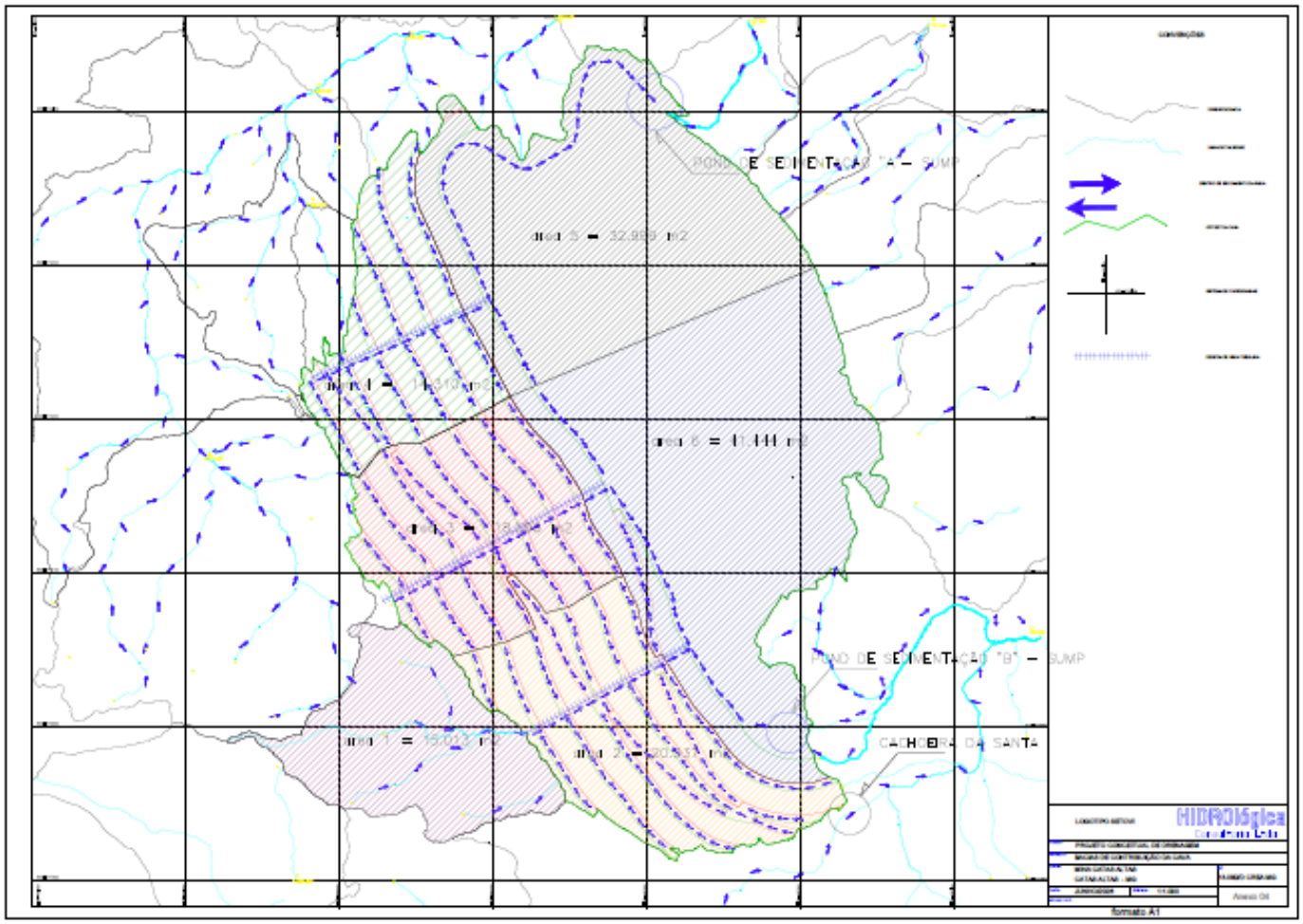
Base topográfica - desenho **ANEXO 1**



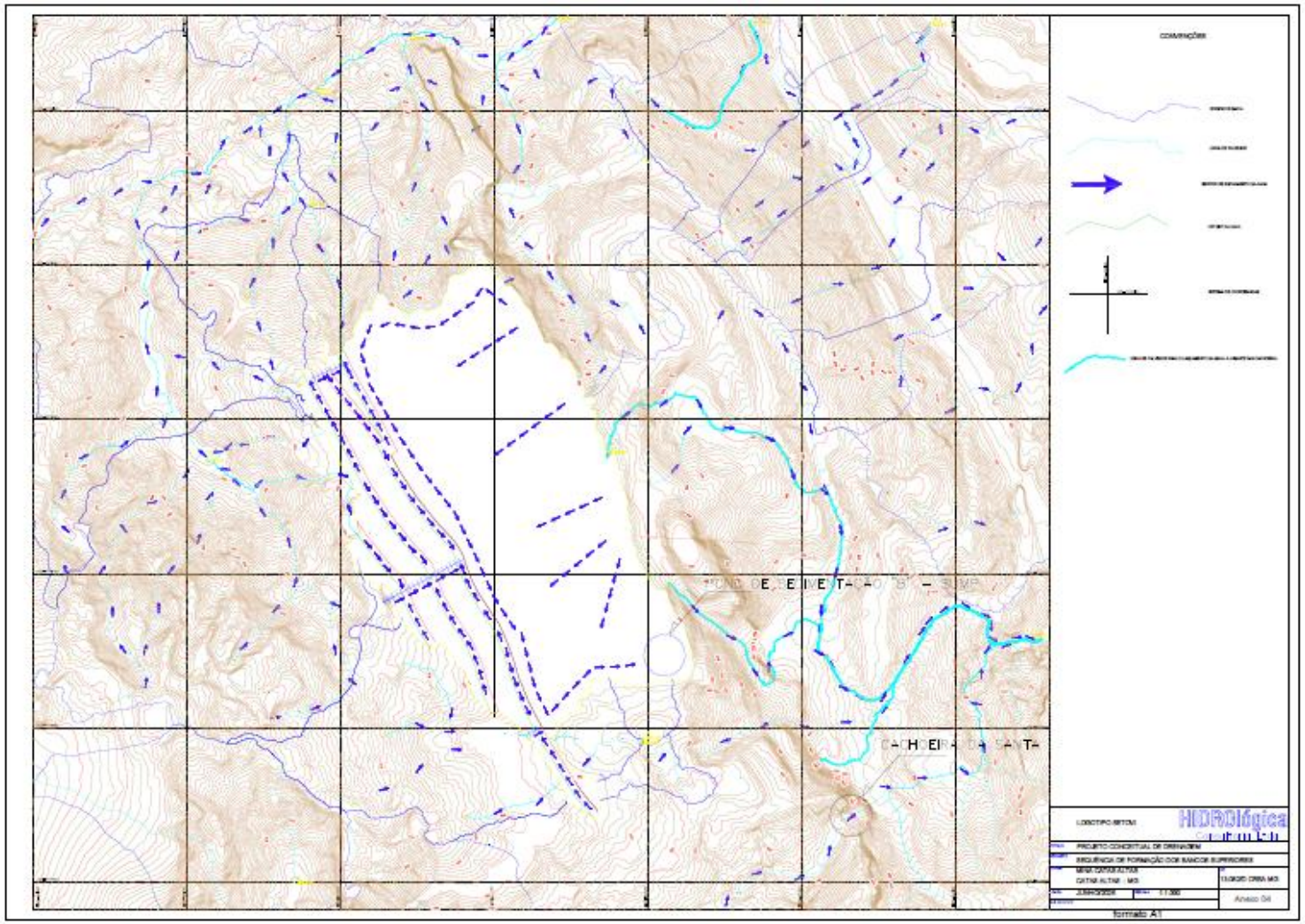
Arranjo Geral – desenho **ANEXO 2**



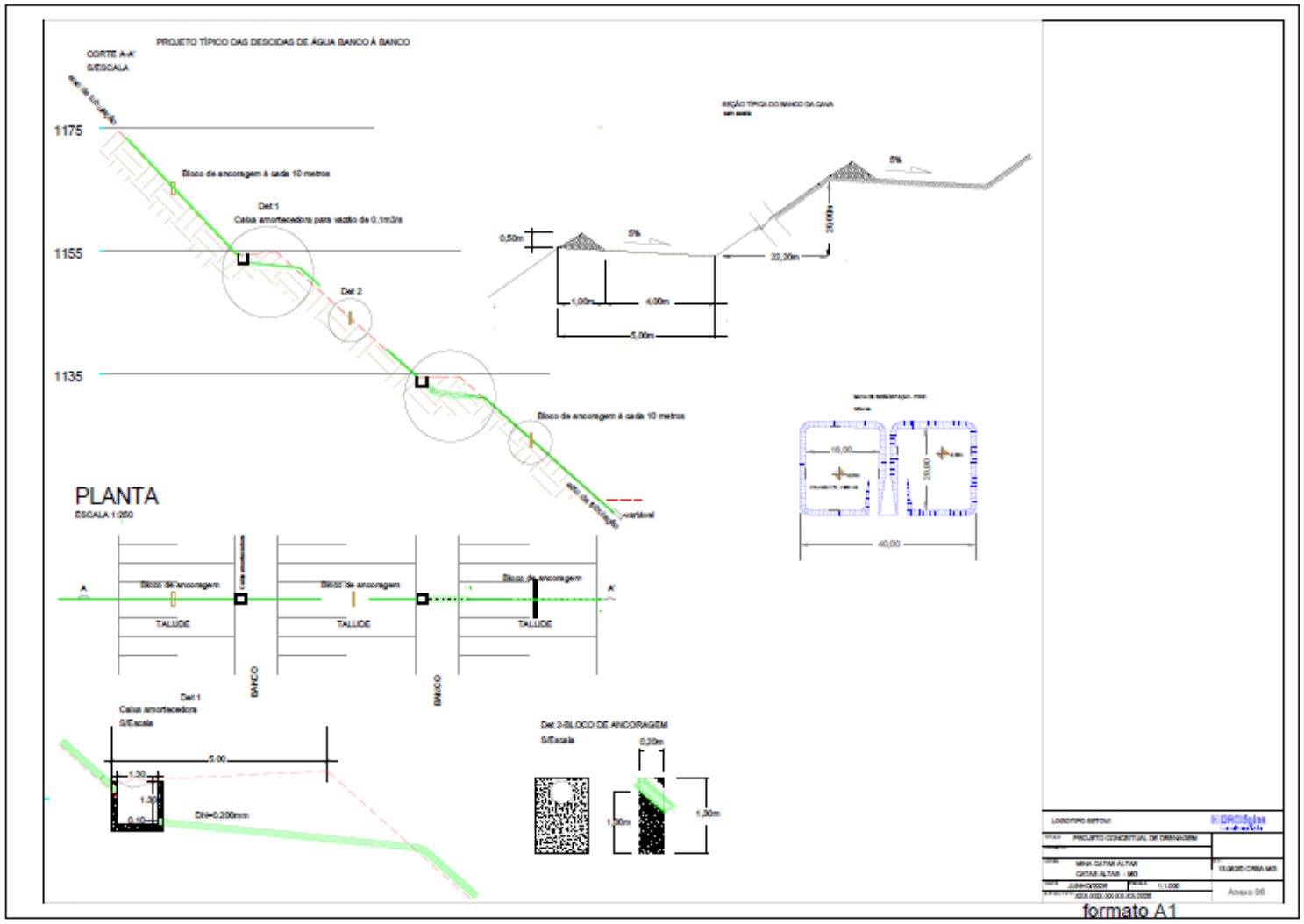
Bacias de Contribuição do Terreno Natural – desenho **ANEXO 3**



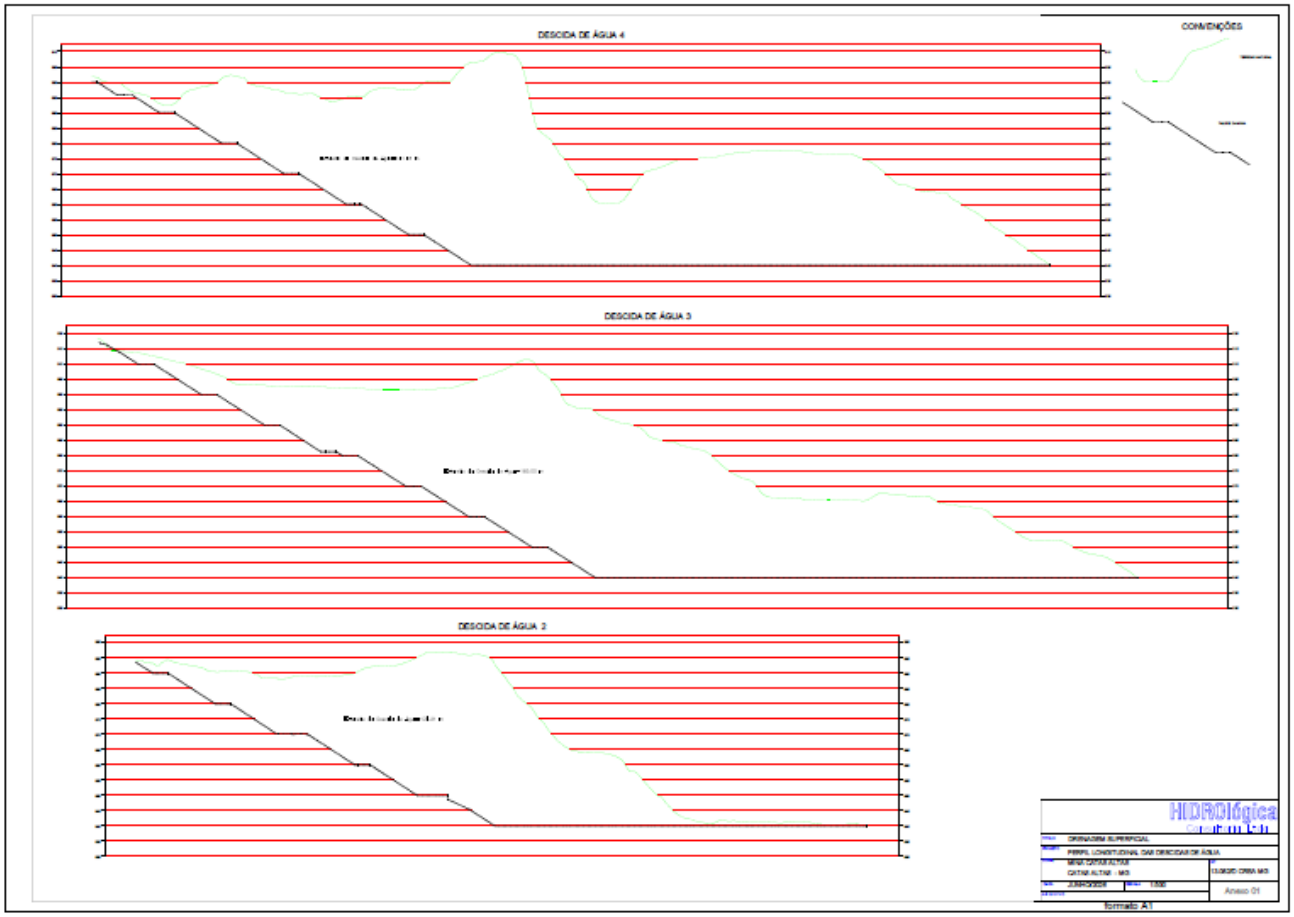
Bacias de Contribuição da geometria projetada - desenho **ANEXO 4**



Sequência de Formação dos Bancos – desenho **ANEXO 5**



Detalhe das Estruturas – desenho **ANEXO 6**



Perfil Longitudinal das Descidas de Água – desenho **ANEXO 7**

LISTA DE MATERIAIS – DRENAGEM SUPERFICIAL DO PROJETO DE RETALUDAMENTO FAZENDA DOS MACHADOS			
ITEM	MATERIAL/SERVIÇO	unid	QUANT.
1	Descida de Agua 2 tubo DN 12',(314mm), aço USI SAC 41/similar, preto, costura helicoidal, pontas com aneis para acoplamento, espessura 2.65mm, comp 6,00m.	m	122.00
2	Acoplamento para tubo helicoidal DN 12'(314mm)	unid	20.00
3	Anéis de borracha para acolplamento DN12'(314mm)	unid	20.00
4	Mão de Obra para montagem	Hxh	713.70
5	12 Blocos de ancoragem em concreto 25 Mpa, 0,70m x0,50m x 0,25m	m^3	1.05

incidência de mão de obra = 5.85 Hh/m/ tubo

LISTA DE MATERIAIS – DRENAGEM SUPERFICIAL DO PROJETO DE RETALUDAMENTO FAZENDA DOS MACHADOS			
ITEM	MATERIAL/SERVIÇO	unid	QUANT.
1	Descida de Agua 3 tubo DN 12',(314mm), aço USI SAC 41/similar, preto, costura helicoidal, pontas com aneis para acoplamento, espessura 2.65mm, comp 6,00m.	m	165.00
2	Acoplamento para tubo helicoidal DN 12'(314mm)	unid	28.00
3	Anéis de borracha para acolplamento DN12'(314mm)	unid	28.00
4	Mão de Obra para montagem	Hxh	965.25
5	16 Blocos de ancoragem em concreto 25 Mpa, 0,70m x0,50m x 0,25m	m^3	1.40

incidência de mão de obra = 5.85 Hh/m/ tubo

LISTA DE MATERIAIS – DRENAGEM SUPERFICIAL DO PROJETO DE RETALUDAMENTO FAZENDA DOS MACHADOS			
ITEM	MATERIAL/SERVIÇO	unid	QUANT.
1	Descida de Agua 4 tubo DN 10',(250mm), aço USI SAC 41/similar, preto, costura helicoidal, pontas com aneis para acoplamento, espessura 2.65mm, comp 6,00m.	m	127.00
2	Acoplamento para tubo helicoidal DN 10'(250mm)	unid	22.00
3	Anéis de borracha para acolplamento DN10'(250mm)	unid	22.00
4	Mão de Obra para montagem	Hxh	742.95
5	22 Blocos de ancoragem em concreto 25 Mpa, 0,70m x0,50m x 0,25m	m^3	1.93

incidência de mão de obra = 5.30 Hh/m/ tubo

Anexo 8 – Planilhas de quantitativos