

RELATÓRIO TÉCNICO DE OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DESVIO TOTAL DE CURSO DE ÁGUA

Elaborado para:

COMPANHIA MINERADORA DO PIROCLORO DE ARAXÁ –
COMIPA

Elaborado por:

EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA.

Uberlândia – MG

Outubro/2022

RELATÓRIO TÉCNICO

**OUTORGA PARA DESVIO TOTAL DE CURSO DE
ÁGUA**

Elaborado para:

COMPANHIA MINERADORA DO PIROCLORO DE ARAXÁ – COMIPA

Elaborado por:

EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA.

UBERLÂNDIA – MG

OUTUBRO/2022

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de localização da expansão da Pilha de Estéril 01, do canal de desvio, do Dique de Contenção de Sedimentos e de parte dos drenos de fundo sob o reservatório	11
Figura 3.1. Mapa de detalhamento do canal de desvio em curso de água	13
Figura 3.2. Mapa de localização da Área Diretamente Afetada (ADA), que compreende a expansão da Pilha 01 e o Dique de Contenção de Sedimentos, bem como representação da drenagem natural local	15
Figura 3.3. Perfil longitudinal do canal de desvio	17
Figura 3.4. Desenhos representativos do aterro e do emboque do canal de desvio	18
Figura 4.1. Análise de frequência de máximos anuais de altura de chuva diária.....	22
Figura 4.2. Tipologias de uso do solo nas bacias de contribuição	27
Figura 4.3. Ábaco para estimativa de velocidades de escoamento difuso em superfícies ...	29
Figura 4.4. Curva cota-descarga do sistema extravasor da Estrutura de Desvio	31
Figura 4.5. Diagrama unifilar – Estrutura de Desvio.....	32
Figura 4.6. Resultado da simulação na Estrutura de Desvio, com destaque para a vazão crítica	33
Figura 4.7. Perfil longitudinal do sistema extravasor da Estrutura de Desvio	35
Figura 4.8. Perfil do escoamento no canal extravasor da Estrutura de Desvio – TR 10.000 anos.....	37
Figura 4.9. Perfil de velocidade e borda livre – Trecho com calha lisa	38
Figura 4.10. Ábaco de dimensionamento da soleira delgada.....	39
Figura 4.11. Locação da soleira delgada – Planta	40
Figura 4.12. Detalhes da soleira delgada	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Características hidrológicas dos cursos d'água locais	14
Tabela 4.1. Precipitações máximas anuais de 24 horas registradas no local do estudo	21
Tabela 4.2. Quantis de Altura Pluviométrica	23
Tabela 4.3. Risco Hidrológico, em %.....	24
Tabela 4.4. <i>Curve Number</i> (CN) ponderado conforme tipologia do solo da bacia de contribuição da Estrutura de Desvio.....	27
Tabela 4.5. Faixas de velocidade média para aplicação do método cinemático, em m/s	28
Tabela 4.6. Parâmetros utilizados no modelo chuva-vazão para a Estrutura de Desvio	29
Tabela 4.7. Relação cota-descarga do sistema extravasor da estrutura de desvio	30
Tabela 4.8. Parâmetros utilizados nos modelos chuva-vazão para a estruturas em estudo	32
Tabela 4.9. Dimensionamento da bacia de dissipação da Estrutura de Desvio.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1. Valores do parâmetro CN para diferentes tipos, usos e ocupação de solo. Condição II de umidade antecedente	25
---	----

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	7
1.1. Empreendedor.....	8
1.2. Consultoria Ambiental	9
1.3. Equipe técnica responsável pela elaboração do relatório	9
2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	10
3. DADOS PARA REQUERIMENTO DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA E INFORMAÇÕES GERAIS	12
3.1. Justificativa da realização da intervenção.....	12
3.2. Descrição hidrológica e disponibilidade hídrica	14
3.3. Balanço hídrico.....	16
3.4. Arranjo geral.....	16
3.5. Dique de Contenção de Sedimentos.....	19
3.6. Dreno de fundo da pilha	19
4. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA ESTRUTURA DE DESVIO	20
4.1. Critérios e Premissas	20
4.2. Chuvas de Projeto.....	20
4.3. Risco Hidrológico	23
4.4. Sistema Extravasor	24
4.4.1. Classificação Hidrológica do Solo.....	24
4.4.2. Determinação do <i>Curve Number</i> (CN).....	25
4.4.3. Tempo de Concentração.....	28
4.4.4. Curva de Descarga	29
4.4.5. Curva Cota-Volume.....	31
4.4.6. Avaliação de Segurança Frente Cheias.....	31
4.4.7. Verificação Hidráulica ao Longo da Calha do Sistema Extravasor.....	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

ANEXO 45

1. APRESENTAÇÃO

A empresa COMPANHIA MINERADORA DO PIROCLORO DE ARAXÁ – COMIPA é uma sociedade anônima de capital fechado e gestão compartilhada que atua nas operações de lavra do minério de pirocloro (nióbio) no município de Araxá, em Minas Gerais. Sua atuação ocorre nas poligonais Decreto 006.476/1956 de titularidade da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM, e Decreto nº 035.102/1946 de titularidade da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG. Dessa forma, a COMIPA mercantiliza o minério exclusivamente para a CBMM, que realiza o beneficiamento, industrialização e comercialização dos produtos finais de nióbio, repassando cerca de 25% do resultado de toda operação a CODEMIG.

O nióbio é um metal de ocorrência natural bastante resistente e leve, muito utilizado em ligas ferrosas metálicas, conferindo alta resistência aos materiais de aço. A adição de nióbio a essas ligas oferece grandes vantagens aos setores de indústrias automotiva e aeronáutica, de dutos de transportes, da construção civil, entre outras. Estima-se que são necessárias aproximadamente 60 (sessenta) toneladas de material mineral para produzir 01 (uma) tonelada de ferronióbio. Isso significa que no processo de lavra do minério, além da extração do nióbio também é gerado grandes quantidades de materiais com pouco ou nenhum valor econômico agregado (estéril).

Nesse sentido, para deposição do material estéril tomou-se como melhor alternativa a ampliação de pilha de estéril e de aterros de resíduos classes I e II, a partir de 04 (quatro) células já existentes, que compreenderão uma única estrutura, denominada como Pilha de Estéril 01 (PDE01). Com a implantação da pilha será necessária a instalação de um Dique de Contenção de Sedimentos, concebido para conter os sedimentos gerados pela pilha mencionada, eliminando ou minimizando o lançamento de água com turbidez acima do previsto na legislação, evitando, conseqüentemente, o assoreamento dos corpos hídricos locais. Ademais, na área prevista para expansão da pilha encontram-se localizadas 03 (três) nascentes que originam o córrego da Cava, afluente do córrego Bocaina, sendo que 02 (duas) dessas (contribuintes leste e oeste) deverão ser drenadas em toda extensão de seus talvegues sob a Pilha e Dique de Contenção de Sedimentos para garantia de permanência de suas funcionalidades hidrológicas e estabilidade das estruturas.

Devido à implantação do reservatório do Dique de Contenção de Sedimentos e do pátio de manobras, será necessário drenar o canal da terceira nascente (contribuinte sudoeste) nas proximidades de sua foz. O referido canal fluirá naturalmente em quase sua totalidade, às margens da estrutura de deposição de estéril, contudo, a montante do supracitado dreno, foi projetada uma estrutura de desvio, cuja função será de direcionar o curso de água natural do contribuinte sudoeste até o leito do córrego da Cava, a jusante do Dique de Sedimentos por meio de um canal e, assim, devolvê-la para o meio ambiente com a mesma qualidade em que foi captada.

Desta forma, o presente estudo consiste em um relatório técnico de outorga como parte dos itens necessários para requerimento do desvio total de curso de água, conforme exigências legais e ambientais descritas na Portaria IGAM nº 48, de 04 de outubro de 2019, e no Decreto nº 47.705 de 04 de setembro de 2019. Cumpre informar que, as informações que subsidiaram o presente relatório técnico de outorga foram extraídas dos relatórios, memoriais descritivos e de engenharia elaborados pela empresa DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos, sob responsabilidade técnica da mesma.

Na sequência são exibidos os dados de identificação do empreendedor, da empresa de consultoria ambiental e da equipe técnica responsável pelo estudo de outorga apresentado no bojo deste documento.

1.1. Empreendedor

Razão social	Companhia Mineradora do Pirocloro de Araxá – COMIPA
CNPJ/CPF	17.806.779/0001-30
Endereço	Avenida Tancredo Neves, nº 30, Bloco A, Vila Silvéria, CEP: 38.183-380 – Araxá-MG
Telefone	(34) 3669-3237
Responsável	Gustavo Valeriano Batista
E-mail	gustavo.batista@comipa.com.br

1.2. Consultoria Ambiental

Razão social	EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA.
CNPJ	14.357.805/0001-00
Endereço	Alameda Marília de Dirceu, 316 – Bairro Jardim Inconfidência – Uberlândia-MG
Telefone	(34) 3214-7936
CRBIO	0334/04
Responsável técnico	Amara Borges Amaral
E-mail	amara@ekosplanejamentoambiental.com.br

1.3. Equipe técnica responsável pela elaboração do relatório

Nome	Formação / Especialidade	Conselho de Classe	Atribuição
Amara Borges Amaral	Bióloga Mestre em Geografia	CRBio n° 57.655/04-D	Coordenação geral
Emanuelle Zordan de Melo	Engenheira Ambiental Esp. Geoprocessamento Mestre em Qualidade Ambiental	CREA-MG n. 193.660	Responsável técnica e revisão final
Alini Bossolani Rossino	Engenheira Ambiental Mestre em Qualidade Ambiental	CREA MG n° 192.195	Gestão técnica
Gustavo Marco Silva	Engenheiro Ambiental	---	Elaboração do relatório técnico

2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Localizada no município de Araxá, estado de Minas Gerais, a Companhia Mineradora do Pirocloro de Araxá – COMIPA atua na área de lavra do minério de pirocloro, cujo acesso se dá pela rodovia federal BR-146, saindo da área urbana de Uberaba sentido Tapira, percorrendo aproximadamente 6 km, tomando-se na sequência a segunda saída no trevo para acesso à via lateral (Via de Acesso à CBMM), percorrendo mais 1,2 km até a portaria. As coordenadas geográficas centrais do empreendimento são: UTM (Zona 23 K) 299958.59 m E / 7824314.12 m S.

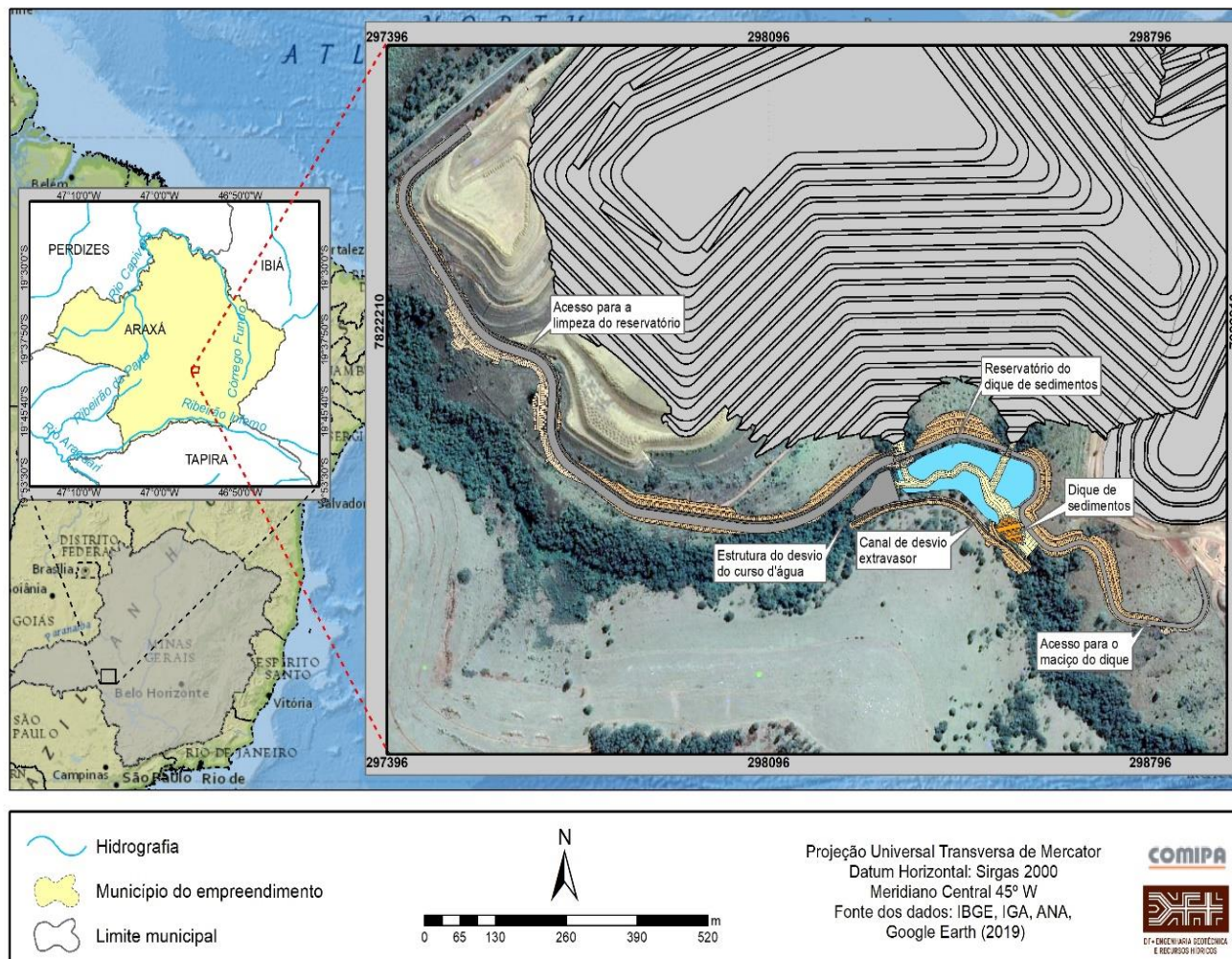
A empresa COMIPA, responsável pela extração do minério nas reservas de nióbio de titularidade da CBMM e CODEMIG, faz todo o processo de lavra e transporte da mina até o pátio de homogeneização e posteriormente transfere o material para unidade de concentração sobre responsabilidade da CBMM que o beneficia. Todo material lavrado na atividade de mineração é destinado para extração do nióbio. Segundo Silva et al. (2012), nesse processo existem dois tipos de resíduos sólidos gerados, os rejeitos e os estéreis. Os rejeitos são resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas as substâncias minerais. Os estéreis são materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas.

Com objetivo de viabilizar uma área para deposição de estéril e de resíduos sólidos classes I e II, como forma de expansão de 04 (quatro) células já existentes em uma única estrutura, será necessário o desvio total de curso d'água em área prevista para implantação do reservatório do Dique de Contenção de Sedimentos e do pátio de manobras, contemplados no âmbito do projeto da Pilha de Estéril 01.

A Figura 2.1 a seguir apresenta o mapa de localização e demonstrativo da Pilha de Estéril 01, bem como do Dique de Contenção de Sedimentos, visão parcial dos drenos de fundo e canal de desvio do curso d'água, alvo do presente pedido de outorga.

Figura 2.1. Mapa de localização da expansão da Pilha de Estéril 01, do canal de desvio, do Dique de Contenção de Sedimentos e de parte dos drenos de fundo sob o reservatório

MAPA DE LOCALIZAÇÃO ACESSO DA PILHA 01 - CBMM - ARAXÁ/MG



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021c).

3. DADOS PARA REQUERIMENTO DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA E INFORMAÇÕES GERAIS

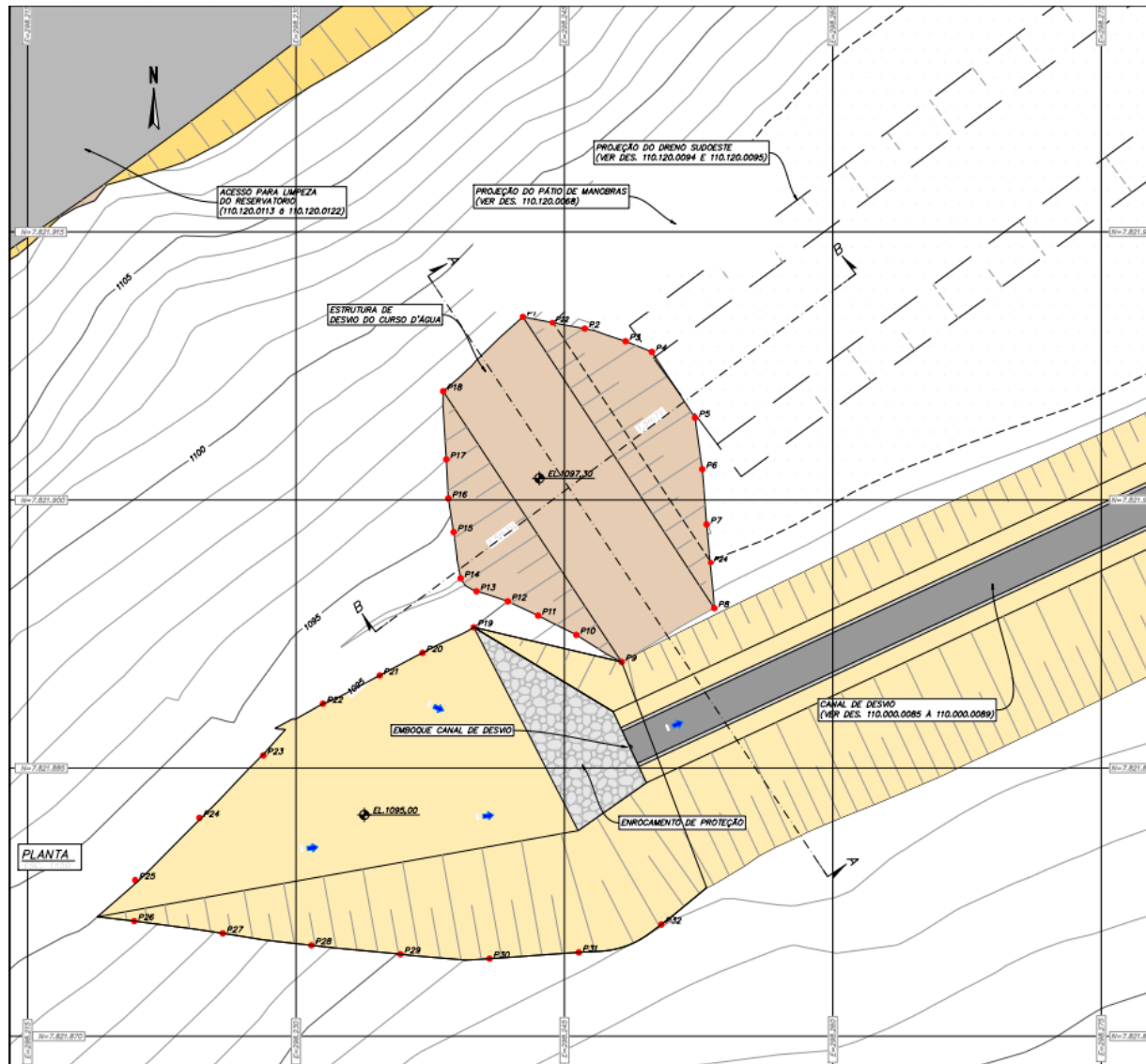
Os itens a seguir apresentam a caracterização hidrológica da bacia hidrográfica do curso hídrico em questão, bem como especificações técnicas da estrutura de desvio proposta e demais informações gerais que se fazem pertinentes.

É importante ressaltar que neste documento aborda-se um compilado de informações extraídas e adaptadas (quando necessário) de relatórios técnicos da empresa DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos, relevantes ao objetivo do estudo (principalmente no que diz respeito aos dimensionamentos hidráulicos) e que pleitearão o presente requerimento de outorga de uso da água.

3.1. Justificativa da realização da intervenção

Conforme mencionado anteriormente, a montante do dreno de fundo projetado para a foz do contribuinte sudoeste, foi projetada uma estrutura de desvio cuja função será de desviar o curso de água natural que margeia a pilha para jusante do Dique de Sedimentos, por meio de um canal e, assim, devolvê-la para o meio ambiente com a mesma qualidade em que foi captada. O desvio ocorrerá através de um canal retangular de aproximadamente 375 m de extensão em concreto armado que será implantado margeando o reservatório do dique, sendo as localizações dos pontos de início e final da intervenção, respectivamente, nas coordenadas UTM (Zona 23K) 298248.69 m E / 7821896.96 m S e 298575.99 m E / 7821813.99 m S, conforme ilustrado na Figura 3.1 a seguir.

Figura 3.1. Mapa de detalhamento do canal de desvio em curso de água



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

3.2. Descrição hidrológica e disponibilidade hídrica

A regularização pleiteada refere-se à um desvio total do contribuinte sudoeste do córrego da Cava, afluente direto do córrego Bocaina pela margem esquerda, que está inserido na bacia do rio Araguari, na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais – UPGRH PN2. O córrego da Cava conta com 03 (três) contribuintes, conforme mapa representativo observado na Figura 3.2.

Previamente, para compreender melhor as características dos recursos hídricos locais, conforme informações expostas na Tabela 3.1, foram coletados dados secundários do Estudo de Regionalização de Vazão da UFV & IGAM (2012) disponíveis na plataforma IDE-SISEMA, no qual, a partir de modelos matemáticos correlacionados aos parâmetros morfométricos de bacias monitoradas, dispõe de resultados de vazões, tais como $Q_{7,10}$; Q_{90} ; Q_{95} e Q_{MLD} para os cursos hídricos analisadas. A $Q_{7,10}$ corresponde à vazão específica mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos. A Q_{90} e Q_{95} compreendem, respectivamente, à vazão mínima esperada em 90% e 95% do tempo ao longo do ano hidrológico e a Q_{MLD} (vazão média de longa duração) consiste na média das vazões diárias nos anos da série histórica.

Tabela 3.1. Características hidrológicas dos cursos d'água locais

CURSO D'ÁGUA	COMPRIMENTO (km)	ÁREA DE DRENAGEM (km ²)	$Q_{7,10}$	Q_{95}	Q_{90}	Q_{mid}
			(m ³ /s)			
Contribuinte Sudoeste	1,43	0,85	0,00509	0,00921	0,00999	0,02295
Contribuinte Oeste	0,65	0,59	0,00339	0,00601	0,00653	0,01450
Contribuinte Leste	0,38	0,21	0,00164	0,00281	0,00305	0,00700
Córrego da Cava	0,88	1,97	0,01192	0,02135	0,02439	0,05602

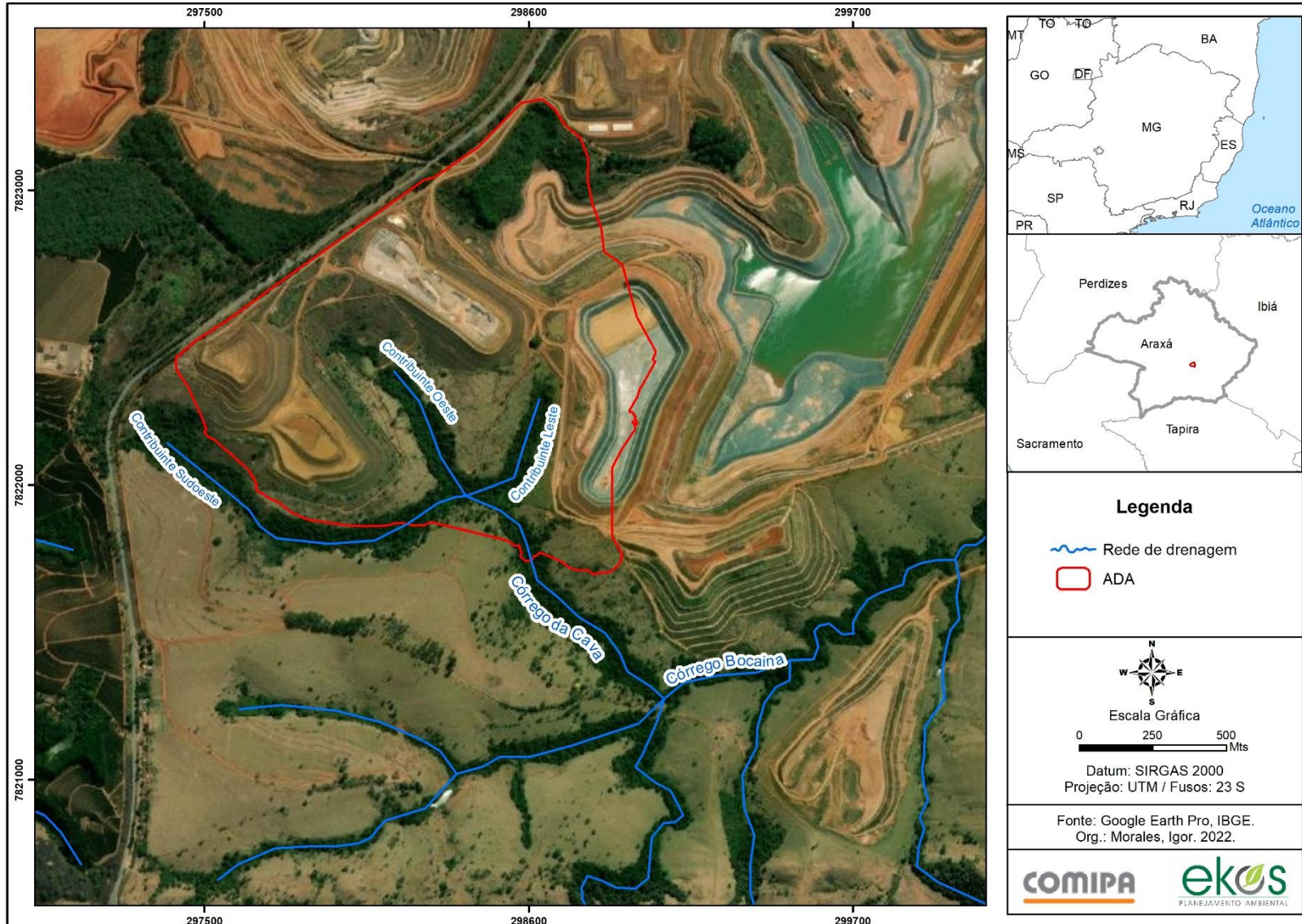
Fonte: Adaptado de IDE-Sisema (2022).

Com relação à $Q_{7,10}$, a Portaria IGAM nº 48, de 04 de outubro de 2019, estabelece o seguinte em seu Art.3:

Art.3 – O limite máximo de captações em recursos hídricos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais, para cada seção considerada em condições naturais, será de 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$, ficando garantidos, a jusante de cada intervenção, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$.

Portanto, a disponibilidade hídrica para o córrego da Cava, conforme infraestrutura de dados, é de 0,00596 m³/s.

Figura 3.2. Mapa de localização da Área Diretamente Afetada (ADA), que compreende a expansão da Pilha 01 e o Dique de Contenção de Sedimentos, bem como representação da drenagem natural local



3.3. Balanço hídrico

Conforme instruções para elaboração de processo de outorga disponibilizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, o balanço hídrico tem como objetivo informar sobre a existência de usuários de recursos hídricos no trecho que será desviado. Em consulta à IDE-Sisema, verificou-se que:

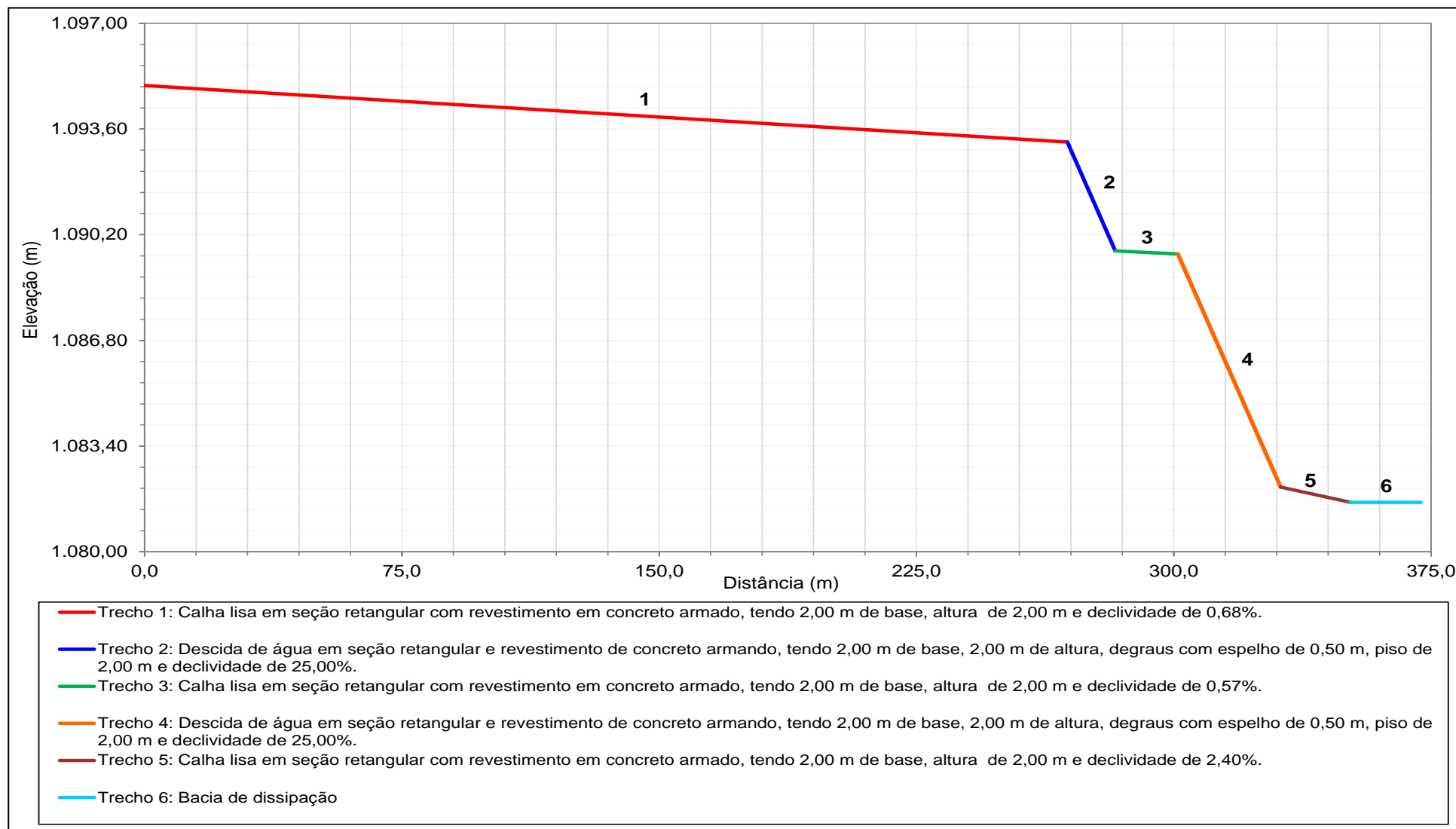
- Não há registros ativos de outorgas de uso da água no trecho que será desviado e nem mesmo na bacia hidrográfica do córrego da Cava;
- As bacias hidrográficas dos córregos da Cava e Bocaina não se encontram em área de conflito por uso dos recursos hídricos.

3.4. Arranjo geral

A seguir são apresentadas as principais características do canal de desvio, conforme perfil longitudinal demonstrado na Figura 3.3. Destaca-se que a estrutura é capaz de resistir a uma cheia de projeto referente ao tempo de retorno deca milenar de forma segura, sem amortecimento de cheias, de acordo com o dimensionamento hidráulico apresentado no item 4 adiante.

- Elevação da soleira: 1.095,00 m;
- Emboque do canal de desvio, em concreto armado, em seção retangular com 2,00 m de base e altura de 2,00 m;
- Trecho (1): calha lisa (em rampa) em seção retangular com revestimento em concreto armado, tendo 2,00 m de base, altura de 2,00 m e declividade de 0,68%;
- Trecho (2): descida de água em seção retangular e revestimento de concreto armado, tendo 2,00 m de base, 2,00 m de altura, degraus com espelho de 0,50 m, patamar de 2,00 m e declividade de 25,00%;
- Trecho (3): calha lisa (em rampa) em seção retangular com revestimento em concreto armado, tendo 2,00 m de base, altura de 2,00 m e declividade de 0,57%;
- Trecho (4): descida de água em seção retangular e revestimento de concreto armado, tendo 2,00 m de base, 2,00 m de altura, degraus com espelho de 0,50 m, patamar de 2,00 m e declividade de 25,00%;
- Trecho (5): calha lisa (em rampa) em seção retangular com revestimento em concreto armado, tendo 2,00 m de base, altura de 2,00 m e declividade de 2,40%;
- Trecho (6): bacia de dissipação de energia.

Figura 3.3. Perfil longitudinal do canal de desvio

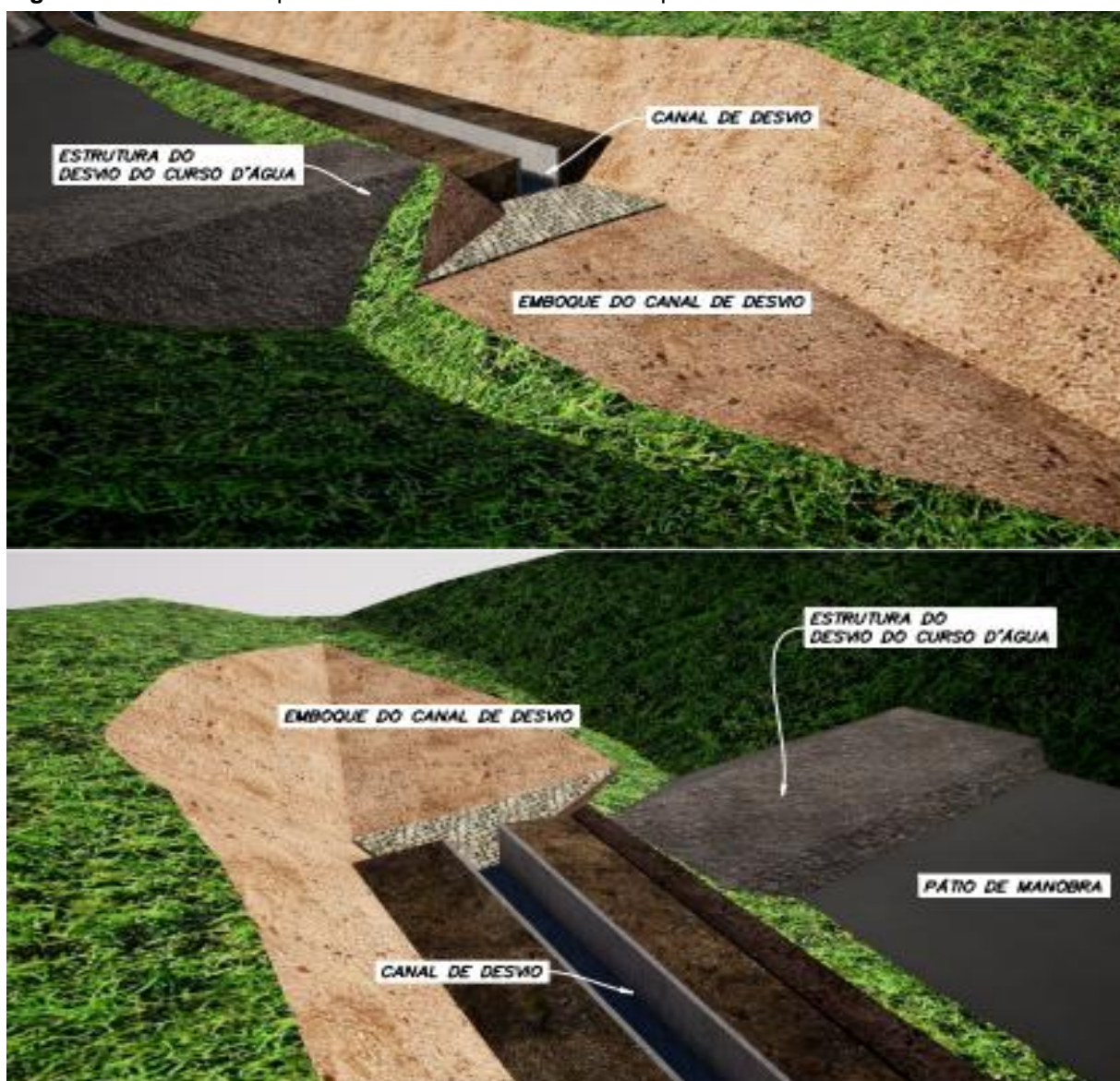


Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Ademais, informa-se que será implantado um aterro que constituirá a estrutura de desvio, prevista junto ao início do canal com finalidade de direcionar o fluxo hídrico. A seguir são apresentadas as principais características geométricas do aterro, bem como desenhos ilustrativos da obra em esboços na Figura 3.4.

- Elevação da crista: 1.097,30 m;
- Altura máxima, contada do ponto mais baixo da fundação à crista: 3,30 m;
- Largura da crista: 6,0 m;
- Inclinação do talude de montante: 1,5 H: 1,0V;
- Inclinação do talude de jusante: 1,5 H: 1,0V;

Figura 3.4. Desenhos representativos do aterro e do emboque do canal de desvio



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

3.5. Dique de Contenção de Sedimentos

Conforme contextualizado anteriormente, tendo em vista a expansão da Pilha de Estéril 01 e possíveis impactos ambientais decorrentes da implantação dessa estrutura, principalmente ao que tange à possibilidade de erosões pluviais que desencadeiam carreamento de sólidos aos cursos hídricos e consequente alteração da qualidade das águas, como medida mitigadora propõe-se a construção de um Dique de Contenção de Sedimentos, com o objetivo de conter os sedimentos gerados pela pilha mencionada, eliminando ou minimizando o lançamento de água com turbidez acima do previsto na legislação, evitando o assoreamento dos corpos hídricos locais.

Os estudos hidrossedimentológicos e o trânsito de cheias referentes ao reservatório do Dique de Contenção de Sedimentos e as verificações quanto ao sistema extravasor são abordadas no Relatório Técnico de Outorga para o Uso de Código 05 – Barramento em curso de água, sem captação, protocolado concomitantemente ao presente documento.

3.6. Dreno de fundo da pilha

O Dique será assentado sobre o dreno de fundo projetado para a pilha, o qual será prolongado sobre toda extensão do talvegue a montante do dique. Esta concepção teve a finalidade de coletar de forma isolada as contribuições provenientes do aporte de águas oriundas das nascentes a montante, evitando saturações e consequentes desestabilizações dos maciços, assim como permitir que elas retornem com a mesma qualidade para o meio ambiente.

Ressalta-se que todas especificações de dimensionamento a respeito do dreno de fundo são apresentadas no Relatório Técnico de Outorga para o Uso de Código 15 - Canalização e/ou Retificação de Curso de Água, protocolado concomitantemente ao presente documento.

4. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA ESTRUTURA DE DESVIO

O presente item possui como finalidade apresentar os estudos de dimensionamentos hidráulicos e trânsito de cheias referente ao sistema extravasor do canal de coleta da estrutura de desvio.

O estudo, denominado como Dimensionamento Hidráulico do Dique de Contenção de Sedimentos pela empresa DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a), foi elaborado pelo profissional Luis Freitas, sob coordenação do projeto de Rinaldo Lemos e revisão de Eduardo Bueno.

4.1. Critérios e Premissas

Para a elaboração do dimensionamento hidráulico da estrutura, foram consideradas as seguintes premissas:

- A estrutura de desvio deverá atender as condições de segurança estrutural e hidráulica, em concordância com as diretrizes das normas técnicas aplicáveis;
- A estrutura de desvio foi proposta para desviar o fluxo natural de curso hídrico a montante do Dique de Contenção de Sedimentos;
- Sistema extravasor da estrutura dimensionado para as TR's de 1.000 e 10.000 anos, conforme preconiza NBR 13.028/2017;
- Limite máximo de 12 m/s para velocidade de escoamento nas estruturas revestidas em concreto, conforme indicado por SUDECAP (2017,2019) para concreto com fck mínimo de 25 MPa;
- No que tange a questão de segurança do coleta do sistema de desvio, a borda livre será calculada de acordo com as preconizações da USBR (1987).

4.2. Chuvas de Projeto

A caracterização do regime pluviométrico médio anual na área do projeto foi realizada a partir da análise de dados pluviométricos fornecidos pela CBMM.

As chuvas de projeto foram determinadas utilizando-se os dados de alturas de chuva diárias fornecidos, correspondentes ao período contemplado pelos anos hidrológicos do período de 1979 a 2019. Inicialmente, para o período de dados disponível, foram selecionados os valores máximos anuais de altura de chuva diária para cada ano hidrológico. As precipitações máximas anuais utilizadas neste estudo são apresentadas na Tabela 4.1.

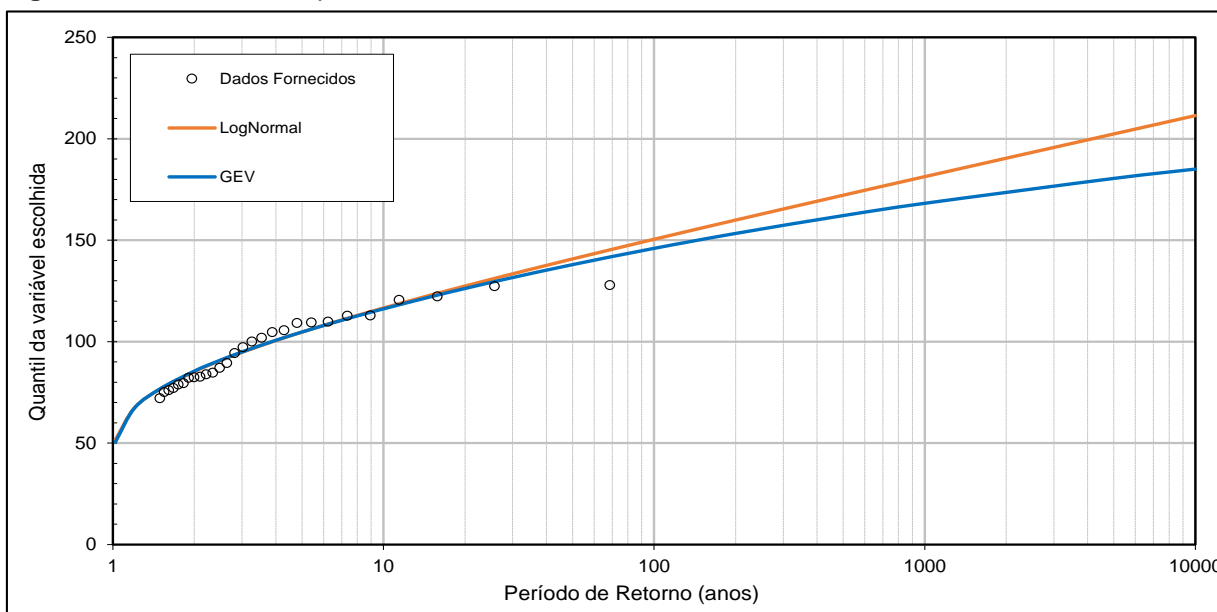
Tabela 4.1. Precipitações máximas anuais de 24 horas registradas no local do estudo

ANO HIDROLÓGICO	P (mm)	ANO HIDROLÓGICO	P (mm)	ANO HIDROLÓGICO	P (mm)
1979 / 1980	89,3	1993 / 1994	100,0	2007 / 2008	120,5
1980 / 1981	71,0	1994 / 1995	97,1	2008 / 2009	82,0
1981 / 1982	70,0	1995 / 1996	46,6	2009 / 2010	72,0
1982 / 1983	109,3	1996 / 1997	122,2	2010 / 2011	104,6
1983 / 1984	64,8	1997 / 1998	79,4	2011 / 2012	82,6
1984 / 1985	101,8	1998 / 1999	75,0	2012 / 2013	109,7
1985 / 1986	67,1	1999 / 2000	69,9	2013 / 2014	100,3
1986 / 1987	71,1	2000 / 2001	64,2	2014 / 2015	112,8
1987 / 1988	71,7	2001 / 2002	86,9	2015 / 2016	77,0
1988 / 1989	71,0	2002 / 2003	105,5	2016 / 2017	77,0
1989 / 1990	127,2	2003 / 2004	109,1	2017 / 2018	127,8
1990 / 1991	76,0	2004 / 2005	84,6	2018 / 2019	94,2
1991 / 1992	112,7	2005 / 2006	62,3	2019 / 2020	78,8
1992 / 1993	82,3	2006 / 2007	57,5	-	-

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

A série histórica foi analisada utilizando o software o SEAF. Os pontos de chuva máxima foram agrupados, ordenados e plotados, empregando-se a posição de plotagem de Weibull, determinando-se as probabilidades amostrais. Buscou-se então o melhor ajuste de um modelo de distribuição probabilística à sequência ordenada de eventos, de forma a obterem-se as alturas de chuva para tempos de retorno específicos.

Aos pontos amostrais (distribuição de probabilidades empírica), foram ajustadas as seguintes distribuições de probabilidades teóricas: Log-Normal de 2 Parâmetros e Generalizada de Valores Extremos (GEV), segundo o método dos momentos-L, conforme apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1. Análise de frequência de máximos anuais de altura de chuva diária

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

A análise da Figura 4.1 permite verificar que as curvas das distribuições teóricas utilizadas apresentam um bom ajuste em relação aos dados observados, sobretudo quando observadas as caudas inferiores. Caso o objetivo do estudo fosse determinar valores de referência inferiores a 20 anos, as diversas distribuições levariam a resultados muito semelhantes. Entretanto, para valores superiores a 20 anos, as curvas das distribuições apresentam divergências crescentes.

Observa-se que os quantis de precipitação, obtidos através da análise de frequências realizada, referem-se a precipitações diárias. Para a transformação em chuvas de 24 horas e desagregação em alturas de chuvas de menor duração, as alturas pluviométricas máximas obtidas na análise de frequência de 1 dia de duração (através da função de distribuição exponencial) foram multiplicadas pelo fator 1,095, recomendado por Taborga (1974), para transformação de valores diários em valores contínuos de 24 horas (apenas para chuvas diárias).

A Tabela 4.2, a seguir, apresenta os quantis de altura pluviométrica utilizados no dimensionamento do sistema de drenagem superficial proposto.

Tabela 4.2. Quantis de Altura Pluviométrica

DURAÇÃO		ALTURA PLUVIOMÉTRICA (mm)							
		PERÍODO DE RETORNO - T (ANOS)							
		TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 500	TR 1.000	TR 10.000
Minutos	6	11,5	12,8	14,3	15,4	16,5	18,9	19,9	23,2
	10	19,6	21,7	24,2	25,9	27,6	31,2	32,6	37,4
	15	26,1	28,8	32,0	34,2	36,3	40,9	42,8	48,8
	20	30,7	33,9	37,6	40,2	42,6	47,9	50,0	56,8
	30	37,1	41,0	45,4	48,5	51,4	57,6	60,1	68,1
Horas	1	48,2	53,1	58,8	62,7	66,4	74,3	77,4	87,5
	2	62,7	69,4	77,2	82,7	87,9	99,2	104	119
	3	71,1	78,9	88,0	94,3	100	114	119	137
	4	77,2	85,6	95,6	103	109	124	130	150
	6	85,7	95,1	106	114	122	139	146	169
	8	91,7	102	114	123	131	149	157	182
	10	96,3	107	120	129	138	157	165	192
	12	100	111	125	134	143	164	172	200
	18	109	121	136	146	156	178	188	218
	24	115	128	143	154	165	189	199	232

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

4.3. Risco Hidrológico

Define-se risco hidrológico, associado a um quantil de precipitação, como sendo a probabilidade desse quantil ser igualado ou superado, pelo menos uma vez, em um período de (n) anos. Notoriamente, esse período pode representar, por exemplo, a vida útil de uma dada obra hidráulica.

A Equação 4.1 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.

$$RH = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^{VU} \quad \text{Equação 4.1}$$

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 4.3 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.

Tabela 4.3. Risco Hidrológico, em %

VIDA ÚTIL (anos)	TEMPO DE RETORNO (anos)						
	5	10	25	50	100	1.000	10.000
1	20,000	10,000	4,000	2,000	1,000	0,100	0,010
2	36,000	19,000	7,840	3,960	1,990	0,200	0,020
5	67,232	40,951	18,463	9,608	4,901	0,499	0,050
10	89,263	65,132	33,517	18,293	9,562	0,996	0,100
20	98,847	87,842	55,800	33,239	18,209	1,981	0,200
30	99,876	95,761	70,614	45,452	26,030	2,957	0,300
50	99,999	99,485	87,011	63,583	39,499	4,879	0,499

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Dessa forma, haja vista a premissa de utilização de 10.000 anos de tempo de recorrência para o dimensionamento do canal de coleta do sistema de desvio, associado à estrutura em função de sua vida útil (50 anos), obtém-se assim um risco hidrológico de 0,499%.

4.4. Sistema Extravasor

Neste item serão apresentados os parâmetros considerados e resultados obtidos para o dimensionamento do sistema extravasor do canal de desvio (Dique Auxiliar), de forma que esse seja capaz de funcionar com segurança para uma cheia de projeto com tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

4.4.1. Classificação Hidrológica do Solo

As áreas de contribuição do dique apresentam, segundo mapeamento dos solos de MG realizado por UFV / CETEC / UFLA / FEAM (2010), o solo do tipo LVd8 que corresponde a “latossolo vermelho distrófico típico A moderado + cambissolo háplico distrófico típico A”. Sartori (2005) sugere para este tipo de solo a classificação no grupo hidrológico A ou B adotada pelo método do SCS (1986). Visando obter um resultado mais conservador, considerou-se um solo de tipo B, onde uma maior parcela da precipitação será convertida em escoamento superficial.

4.4.2. Determinação do Curve Number (CN)

Um dos principais parâmetros hidrológicos e de maior impacto nos estudos de vazões máximas é o que define a parcela da precipitação que será transformada em escoamento superficial durante um evento chuvoso em uma bacia hidrográfica. Para os estudos de vazões máximas, utilizados na verificação do sistema extravasor do Dique Auxiliar, adotou-se o modelo CN do SCS (*Soil Conservation Service*) como o módulo de produção da chuva efetiva.

O modelo CN utiliza um parâmetro de referência, o *Curve Number*, para atribuir, a diferentes tipos de solo e cobertura vegetal, diferentes pesos na infiltração e perdas totais do escoamento.

Assim, a partir da definição do grupo hidrológico do solo (Tipo B) e das classes de uso e ocupação do solo identificadas na área em estudo, foram calculados valores médios de CN, a partir dos valores de referência indicados por Chow et al. (1988) e resumidos no Quadro 4.1.

Quadro 4.1. Valores do parâmetro CN para diferentes tipos, usos e ocupação de solo. Condição II de umidade antecedente

TIPO DE SOLO	TIPOLOGIA DE USO E OCUPAÇÃO	CN - II	OBSERVAÇÕES
A	Afloramento rochoso	80	
B		86	
C		89	
D		90	
A ¹	Área industrial	72	Tipologia conjugada com "Streets and roads: dirt"
B ¹		82	
C ¹		87	
D ¹		89	
A	Cava	75	
B		84	
C		88	
D		90	
A, B, C e D	Lago	100	
A ²	Núcleo urbano	54	Tipologia conjugada com "Residential: 25% impervious"
B ²		70	
C ²		80	

TIPO DE SOLO	TIPOLOGIA DE USO E OCUPAÇÃO	CN - II	OBSERVAÇÕES
D ²	Pilhas / barragens / aterros	85	Tipologia conjugada com "Pasture or range land: good condition"
A ³		39	
B ³		61	
C ³		74	
D ³		80	
A ⁴	Praia de rejeitos / sedimentos	45	
B ⁴		65	
C ⁴		75	
D ⁴		81	
A	Solo exposto	68	Tipologia conjugada com "Range land: poor condition"
B		79	
C		86	
D		89	
A	Vegetação densa	25	Tipologia conjugada com "Wood or forest land: good cover"
B		55	
C		70	
D		77	
A	Vegetação esparsa	30	Tipologia conjugada com "Meadow: good condition"
B		58	
C		71	
D		78	
A	Vegetação rasteira	39	Tipologia conjugada com "Open spaces, lawns, parks: good conditions"
B		61	
C		74	
D		80	

Notas:

- (1) A diferenciação de "tipo de solo" para área industrial deve ser interpretada também como nível de adensamento e impermeabilização.
- (2) A diferenciação de "tipo de solo" para núcleo urbano deve ser interpretada também como nível de adensamento e impermeabilização.
- (3) A diferenciação de "tipo de solo" para pilhas, barragens e aterros deve ser interpretada como diferentes tipos de materiais, estágios de construção e cobertura das estruturas.
- (4) A diferenciação de "tipo de solo" para praia de rejeitos e sedimentos deve ser interpretada como diferentes tipos de materiais e estágios de operação das estruturas.

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica E Recursos Hídricos LTDA (2021a), adaptado de Chow et al. (1988)

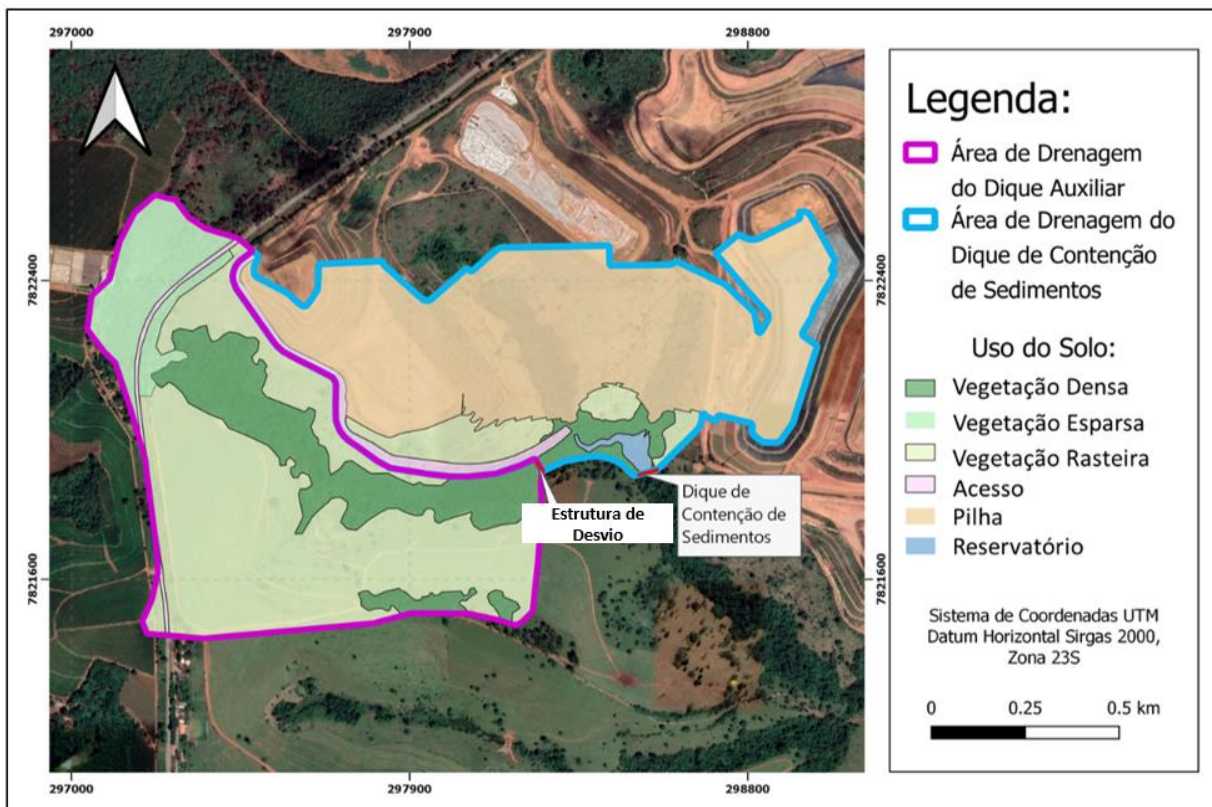
A definição de uso do solo foi realizada manualmente por meio da construção de polígonos de diferentes tipos de uso do solo identificados visualmente na bacia de contribuição. Para

tanto, foi utilizado o conjunto de imagens do Google Satélite, incorporadas ao software QGis 3.14.15.

As bacias de contribuição as quais foi mapeado o uso e ocupação do solo foi determinada através da análise conjunta entre a topografia disponibilizada (Topografia – Pilha CPE) e do software QGis, utilizando como base de dados para modelo digital de elevação a SRTM, disponibilizada pelo site da NASA.

Abaixo, na Figura 4.2, encontra-se a delimitação da área de drenagem e o uso e ocupação do solo para o Dique de Contenção de Sedimentos e para a Estrutura de Desvio.

Figura 4.2. Tipologias de uso do solo nas bacias de contribuição



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Os valores considerados para o cálculo do CN estão dispostos na tabela abaixo, assim como o valor resultante da ponderação entre as áreas.

Tabela 4.4. Curve Number (CN) ponderado conforme tipologia do solo da bacia de contribuição da Estrutura de Desvio

TIPOLOGIA	CN (TIPO B)	ÁREA (km ²)
Vegetação rasteira	61	0,460

TIPOLOGIA	CN (TIPO B)	ÁREA (km ²)
Vegetação esparsa	58	0,100
Vegetação densa	55	0,171
Acesso	82	0,011
Pilha	61	0,000
Reservatório	100	0,000
CN PONDERADO	59,5	

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

4.4.3. Tempo de Concentração

O tempo de concentração, utilizados para os estudos foram obtidos pela Equação 4.2:

$$t_c = \sum \frac{L_i}{v_i} \quad \text{Equação 4.2}$$

Em que:

- t_c denota o tempo de concentração, em min;
- L denota o comprimento do trecho, em m;
- v denota a velocidade média do trecho, em m/s.

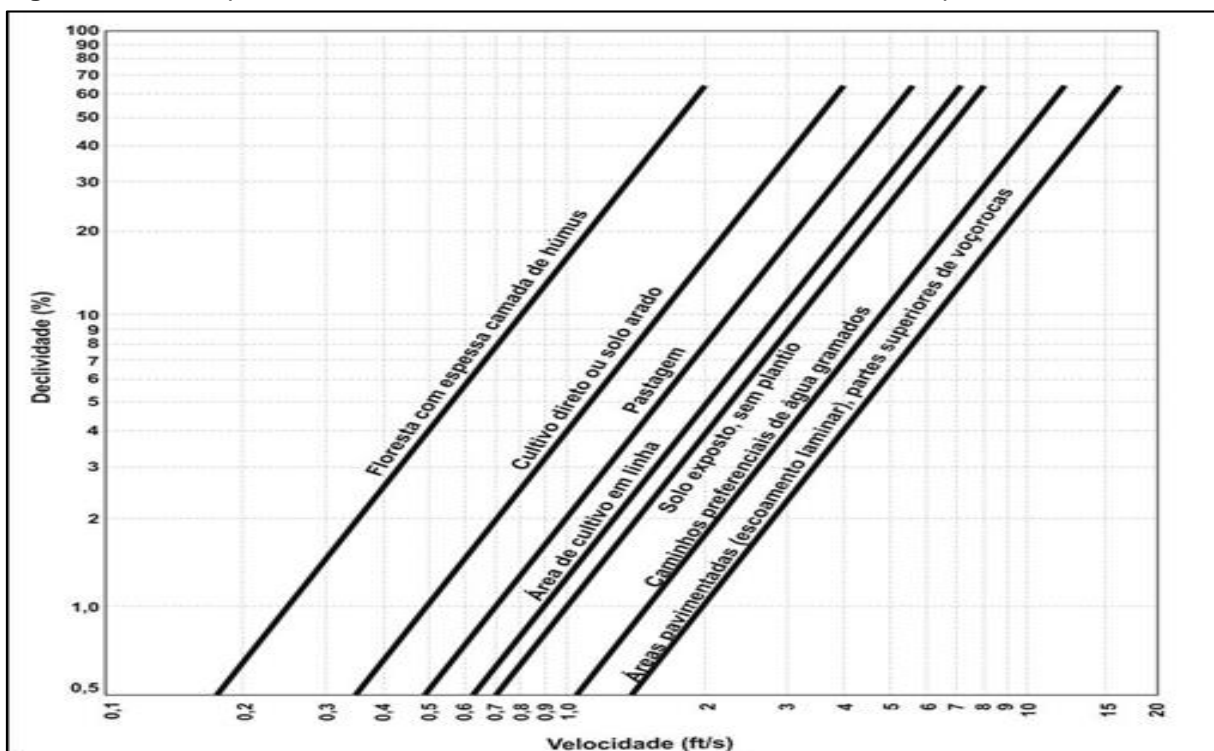
Para definição das velocidades, foram usados os limites superiores da estimativa de velocidades de escoamento pelas superfícies, apresentada por Pinheiro (2011) na Tabela 4.5 e na Figura 4.3.

Tabela 4.5. Faixas de velocidade média para aplicação do método cinemático, em m/s

TIPO DE ESCOAMENTO	FAIXA DE DECLIVIDADE (%)			
	0 ≤ S ≤ 3	4 ≤ S ≤ 7	8 ≤ S ≤ 11	S ≥ 12
Escoamento difuso				
Florestas	0,0 – 0,50	0,50 – 0,80	0,80 – 1,00	> 1,00
Pastagens	0,0 – 0,80	0,80 – 1,10	1,10 – 1,30	> 1,30
Áreas Cultivadas	0,0 – 0,90	0,90 – 1,40	1,40 – 1,70	> 1,70
Pavimentos	0,0 – 2,60	2,60 – 4,00	4,00 – 5,20	> 5,20
Escoamento em canais				
Canais Naturais	0,0 – 0,60	0,60 – 1,20	1,20 – 2,10	-
Canais Prismáticos	Manning	Manning	Manning	Manning

Fonte: Pinheiro (2011); DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Figura 4.3. Ábaco para estimativa de velocidades de escoamento difuso em superfícies



Fonte: Pinheiro (2011); DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Na Tabela 4.6 é apresentado o tempo de concentração encontrado para a Estrutura de Desvio.

Tabela 4.6. Parâmetros utilizados no modelo chuva-vazão para a Estrutura de Desvio

COMPRIMENTO DO TALVEGUE (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/m)	tc (min)	LAG TIME (min)
1.401,30	0,089	14,2	8,51

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

4.4.4. Curva de Descarga

Neste item é apresentada a metodologia e resultado para o cálculo da curva de descarga da estrutura em desvio em estudo.

A determinação da curva de descarga do emboque do extravasor da Estrutura de Desvio foi efetuada a partir da equação que define a relação cota x descarga para os controles de soleira livre (Equação 4.3). O vertedouro foi dimensionado com geometria retangular, com 2,00 m de base e 2,00 m de altura.

$$Q = C_d \cdot L \cdot H^{3/2} \quad \text{Equação 4.3}$$

Em que:

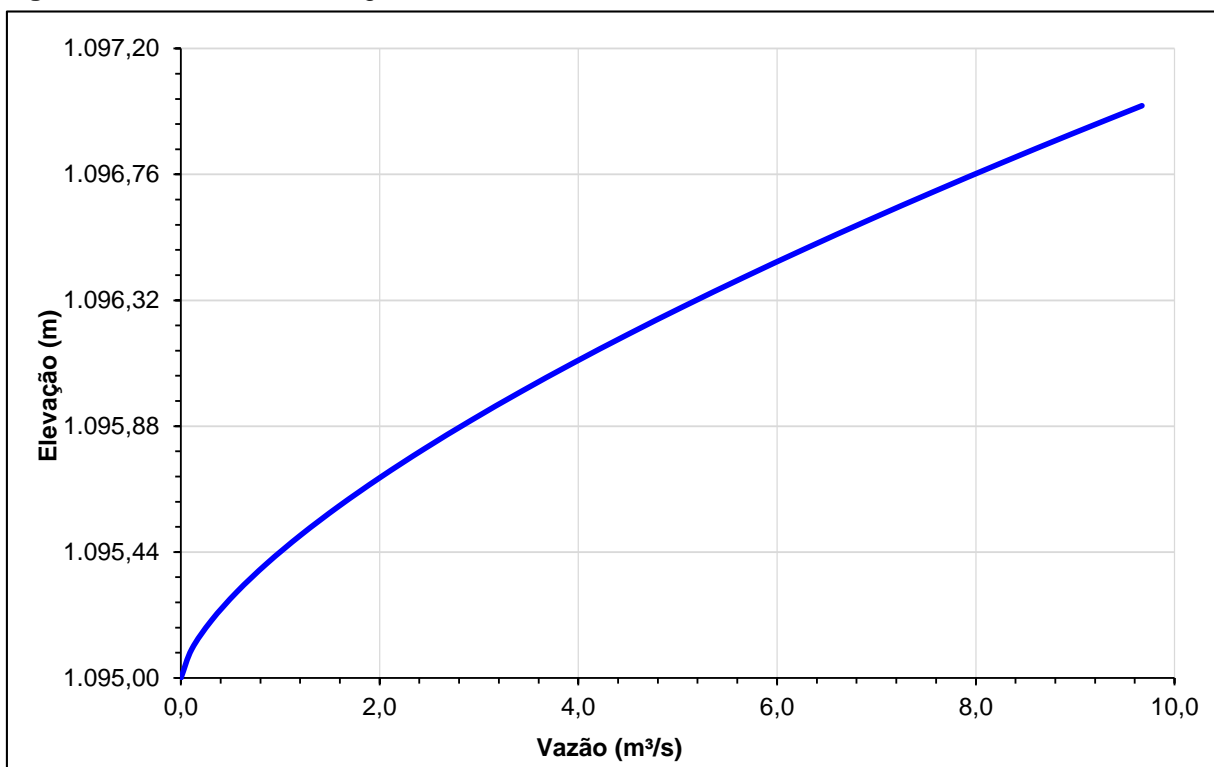
- Q denota vazão, em m³/s;
- Cd denota coeficiente de descarga, adotado igual a 1,71 para o controle hidráulico do tipo soleira espessa;
- L denota a largura, em m;
- H denota elevação do NA acima da elevação de referência definida para cada seção de controle, em m.

A Tabela 4.7 apresenta a relação cota-descarga do extravasor e a Figura 4.4 ilustra esta relação, através da curva de descarga da estrutura.

Tabela 4.7. Relação cota-descarga do sistema extravasor da estrutura de desvio

ELEVAÇÃO (m)	VAZÃO (m ³ /s)	ELEVAÇÃO (m)	VAZÃO (m ³ /s)
1.095,00	0,00	1.096,10	3,95
1.095,10	0,11	1.096,20	4,50
1.095,20	0,31	1.096,30	5,07
1.095,30	0,56	1.096,40	5,67
1.095,40	0,87	1.096,50	6,28
1.095,50	1,21	1.096,60	6,92
1.095,60	1,59	1.096,70	7,58
1.095,70	2,00	1.096,80	8,26
1.095,80	2,45	1.096,90	8,96
1.095,90	2,92	1.097,00	9,67
1.096,00	3,42	-	-

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Figura 4.4. Curva cota-descarga do sistema extravasor da Estrutura de Desvio

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

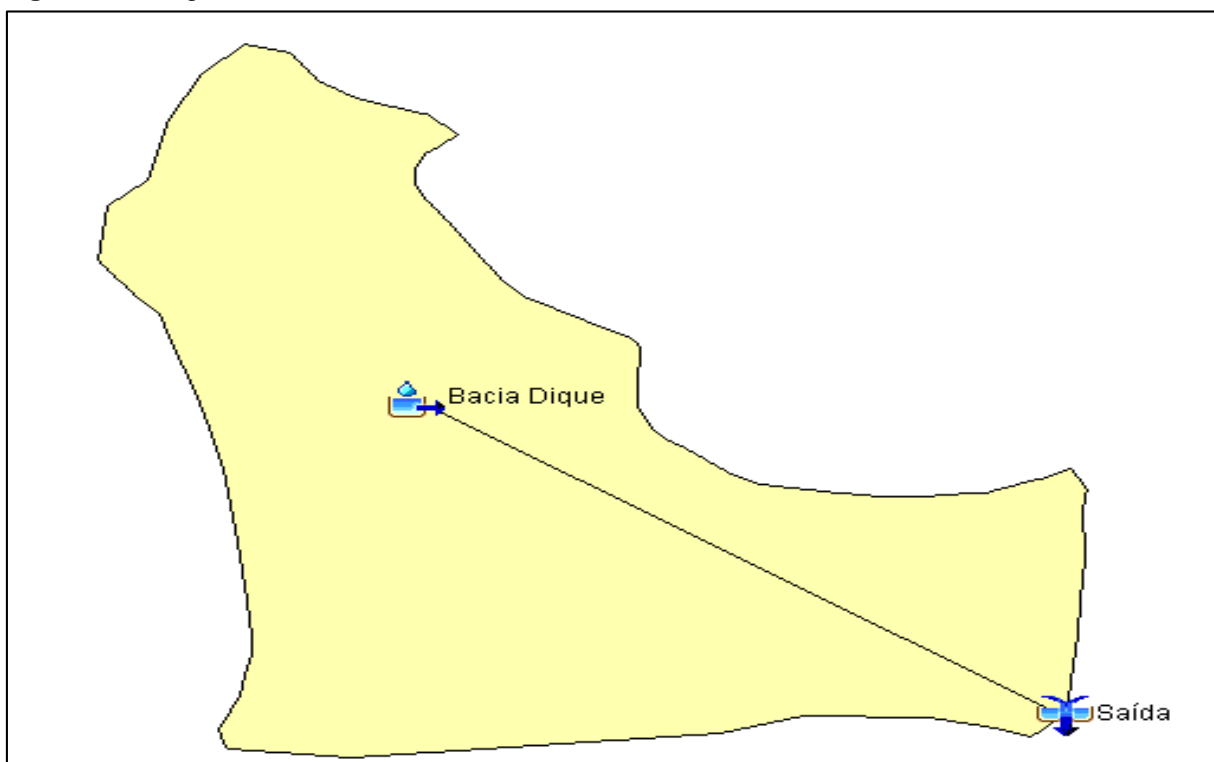
4.4.5. Curva Cota-Volume

Para a Estrutura de Desvio não foi adotado o amortecimento de cheias, devido ao tamanho pequeno do seu reservatório e por se caracterizar como um desvio do leito natural, onde só haverá a formação de reservatório durante passagens de cheias. Para a vazão máxima de projeto, foi considerada a máxima afluente, conforme disposto nos itens seguintes.

4.4.6. Avaliação de Segurança Frente Cheias

Para a simulação hidrológica do trânsito de cheias na estrutura de desvio, adotou-se o modelo computacional HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*), versão 4.3, elaborado e distribuído pelo *Hydrologic Engineering Center* do *U.S. Army Corps of Engineers*, considerando a contribuição da bacia da Estrutura de Desvio, conforme ilustrado no diagrama unifilar da Figura 4.5.

Figura 4.5. Diagrama unifilar – Estrutura de Desvio



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Na Tabela 4.8 são apresentados os parâmetros utilizados no modelo hidrológico HEC-HMS.

Tabela 4.8. Parâmetros utilizados nos modelos chuva-vazão para a estruturas em estudo

AD (km ²)	CN PONDERADO	COMPRIMENTO DO TALVEGUE (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/m)	tc (min)	LAG TIME (min)
0,74	59,5	1.401,30	0,089	14,2	8,51

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

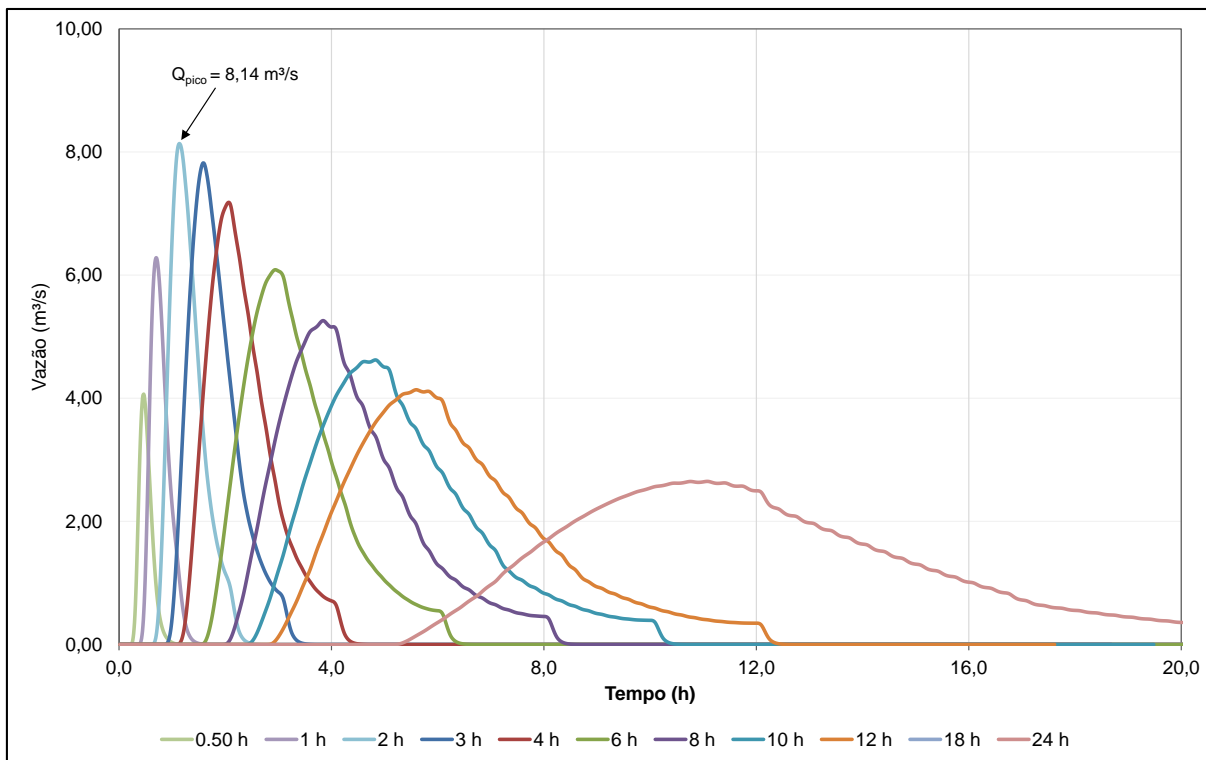
Onde:

- AD denota área de drenagem;
- CN denota o *Curve Number* do método do SCS (1986);
- tc denota o tempo de concentração;
- Lag time, admitido igual a 3/5 do tempo de concentração, conforme SCS (1986).

Conforme explicado no item anterior, para a Estrutura de Desvio não se considerou o trânsito de cheias em seu reservatório, visto que este possui pequenas dimensões e volume, portanto, foi desconsiderado seus efeitos de amortecimento. Sendo assim, a vazão crítica de projeto foi tomada como a vazão máxima afluente ao reservatório.

Os resultados obtidos através das simulações hidrológicas no programa computacional HEC-HMS estão ilustrados na Figura 4.6, com destaque para a vazão de pico para TR de 10.000 anos, associada à duração crítica de 2 horas.

Figura 4.6. Resultado da simulação na Estrutura de Desvio, com destaque para a vazão crítica



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Esta vazão de pico de $8,14 \text{ m}^3/\text{s}$, conforme a curva cota x descarga da Estrutura de Desvio apresentada na Tabela 4.7 e na Figura 4.4, corresponde à um nível d'água (N.A) no emboque do canal extravasor na elevação 1.096,78 m.

Conclui-se então que, a Estrutura de Desvio é capaz de resistir a uma cheia de projeto referente ao tempo de retorno deca milenar de forma segura, sem amortecimento de cheias.

4.4.7. Verificação Hidráulica ao Longo da Calha do Sistema Extravasor

No presente item é realizada a verificação hidráulica do sistema extravasor da Estrutura de Desvio ao longo de toda a sua extensão.

Para esse sistema, com elevações de soleira e crista nas cotas 1.095,00 m e 1.097,00 m, respectivamente, foram analisadas e verificadas 06 (seis) seções, conforme descrito no item 3.4 e apresentado novamente a seguir:

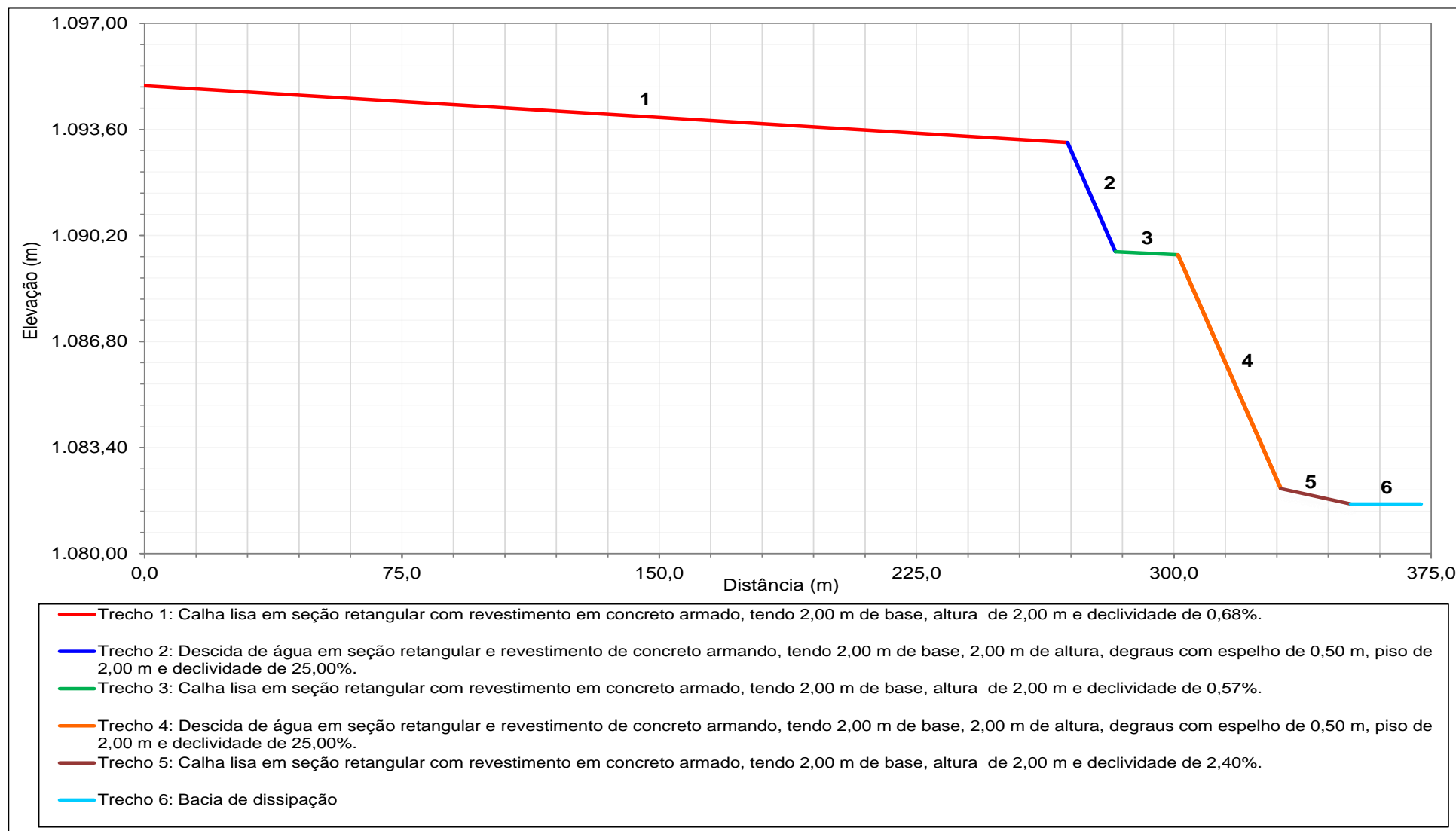
- Emboque do sistema extravasor, em concreto projetado e seção retangular com 2,00 m de base e altura de 2,00 m;
- Trecho (1): calha lisa (em rampa) em seção retangular com revestimento em concreto armado, tendo 2,00 m de base, altura de 2,00 m e declividade de 0,68%;
- Trecho (2): descida de água em seção retangular e revestimento de concreto armado, tendo 2,00 m de base, 2,00 m de altura, degraus com espelho de 0,50 m, patamar de 2,00 m e declividade de 25,00%;
- Trecho (3): calha lisa (em rampa) em seção retangular com revestimento em concreto armado, tendo 2,00 m de base, altura de 2,00 m e declividade de 0,57%;
- Trecho (4): descida de água em seção retangular e revestimento de concreto armado, tendo 2,00 m de base, 2,00 m de altura, degraus com espelho de 0,50 m, patamar de 2,00 m e declividade de 25,00%;
- Trecho (5): calha lisa (em rampa) em seção retangular com revestimento em concreto armado, tendo 2,00 m de base, altura de 2,00 m e declividade de 2,40%;
- Trecho (6): bacia de dissipação de energia.

Diante do cenário estabelecido, desenvolveram-se os estudos hidráulicos em duas etapas, sendo a primeira etapa corresponde à análise da seção longitudinal do eixo do extravasor; e na segunda etapa foram processadas as simulações hidráulicas.

4.4.7.1. Análise da Seção Longitudinal do Eixo do Sistema Extravasor

A Figura 4.7 mostra a indicação dos trechos projetados mencionados anteriormente.

Figura 4.7. Perfil longitudinal do sistema extravasor da Estrutura de Desvio



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

4.4.7.2. Trecho em Calha Lisa

A modelagem hidráulica do trecho em calha lisa (rampa) foi efetuada com a utilização do aplicativo computacional HEC-RAS, versão 5.0.6. Como dados básicos para o funcionamento do aplicativo são consideradas as seções transversais, que reproduzem a geometria dos trechos, e as características de rugosidade da calha (coeficiente de rugosidade de Manning).

O aplicativo efetua cálculos de progressão do escoamento unidimensional, para a hipótese do regime permanente gradualmente e bruscamente variado. O processamento inicia sempre a partir de seções de controle hidráulico, dados nos extremos de montante ou de jusante do trecho em estudo, podendo operar para as condições de regime subcrítico ou supercrítico, identificando-se as seções de mudança de regime com a eventual formação de ressalto hidráulico.

As características de rugosidade da calha foram sintetizadas no coeficiente de rugosidade de Manning, com a utilização do aplicativo computacional SisCCoH 1.1, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (DERH-EE/UFMG).

Desta maneira, procurou-se admitir a condição do escoamento em degraus simulando esta situação através do uso de uma rugosidade empírica (trecho com fundo liso, mas com rugosidade capaz de refletir a mesma condição de escoamento prevista no escoamento em degraus).

Para o trecho em degraus, adotou-se a rugosidade “empírica” no valor de 0,051, calculada com o suporte do programa SisCCoH 1.1.

No que tange a questão de segurança do canal extravasor, o USBR (1987) sugere a Equação 4.4 para o cálculo da borda livre.

$$BL = 0,60 + 0,037 \cdot U_1 \cdot \sqrt[3]{y_c} \quad \text{Equação 4.4}$$

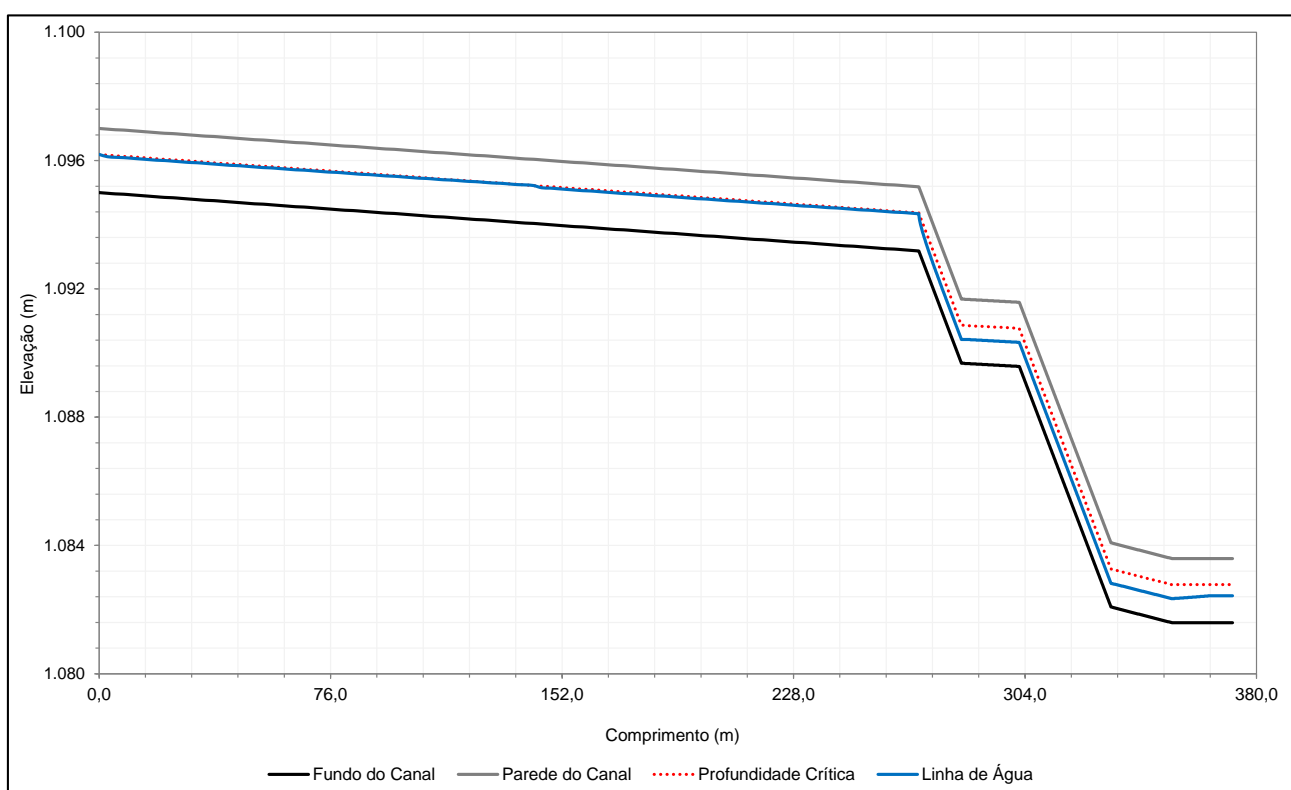
Em que:

- BL denota a borda livre da estrutura, em m;
- U1 denota a velocidade de escoamento, em m/s;
- yc denota a profundidade crítica do escoamento, em m.

4.4.7.3. Apresentação dos Resultados

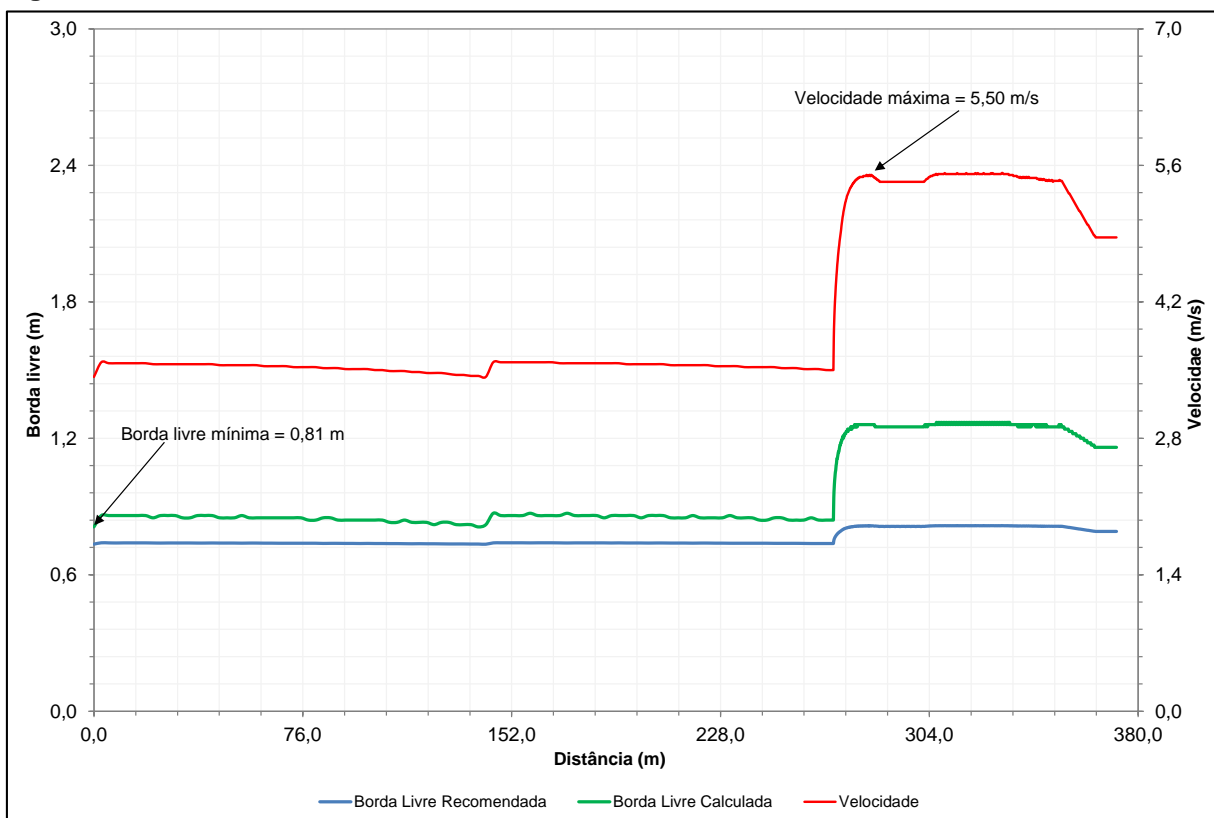
Como resultados da modelagem hidráulica, a Figura 4.8 apresenta os perfis de linha de água do sistema extravasor, para a vazão de projeto associada ao TR de 10.000 anos ($8,14 \text{ m}^3/\text{s}$), onde é apresentado graficamente o perfil de escoamento ao longo do canal. Complementarmente, são apresentados a profundidade crítica, fundo do canal e paredes. Da mesma forma, o trecho da bacia de dissipação foi avaliado separadamente, conforme apresentado a seguir.

Figura 4.8. Perfil do escoamento no canal extravasor da Estrutura de Desvio – TR 10.000 anos



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

A Figura 4.9 apresenta os perfis de velocidade de escoamento e de borda livre ao longo do trecho de fundo liso (em rampa) e em degraus, para vazão deca milenar. Observa-se que a velocidade máxima foi de $5,50 \text{ m/s}$, sendo esta inferior ao valor de 12 m/s indicado por SUDECAP (2017, 2019) a fim de evitar problemas de erosão no concreto. Para a borda livre mínima obteve-se o valor de $0,81 \text{ m}$, ou seja, acima do valor de borda livre recomendado por USBR (1987) que é de $0,60 \text{ m}$.

Figura 4.9. Perfil de velocidade e borda livre – Trecho com calha lisa

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Diante dos resultados apresentados, as análises realizadas indicaram que a geometria proposta para o canal extravasor da Estrutura de Desvio é capaz de conduzir adequadamente a vazão de projeto para TR de 10.000 anos.

4.4.7.3.1. Bacia de Dissipação

As bacias de dissipação são estruturas que efetuam a dissipação de energia através do conceito de ressalto hidráulico ou por impacto através de estruturas nela inseridas. No projeto do sistema extravasor do canal de desvio, adotou-se a bacia de dissipação por ressalto hidráulico, cujo objetivo essencial consiste em fixar a posição do ressalto e reduzir seu comprimento, além de proporcionar, evidentemente, uma adequada eficiência na dissipação de energia, reduzindo as velocidades de escoamento à jusante.

Neste dimensionamento utilizou-se, em um primeiro momento, o aplicativo computacional SisCCoH 1.1. O cálculo consistiu em determinar as dimensões das bacias de dissipação do sistema, capaz de garantir que o ressalto hidráulico ocorra em seu interior.

A Tabela 4.9 apresenta os dados de entrada e resultados obtidos para a bacia de dissipação do sistema extravasor da Estrutura de Desvio. Como dados de entrada para o *software* foram considerados a vazão de projeto, altura da lâmina de água (y_1) a montante da bacia de dissipação e a largura de seu canal.

Tabela 4.9. Dimensionamento da bacia de dissipação da Estrutura de Desvio

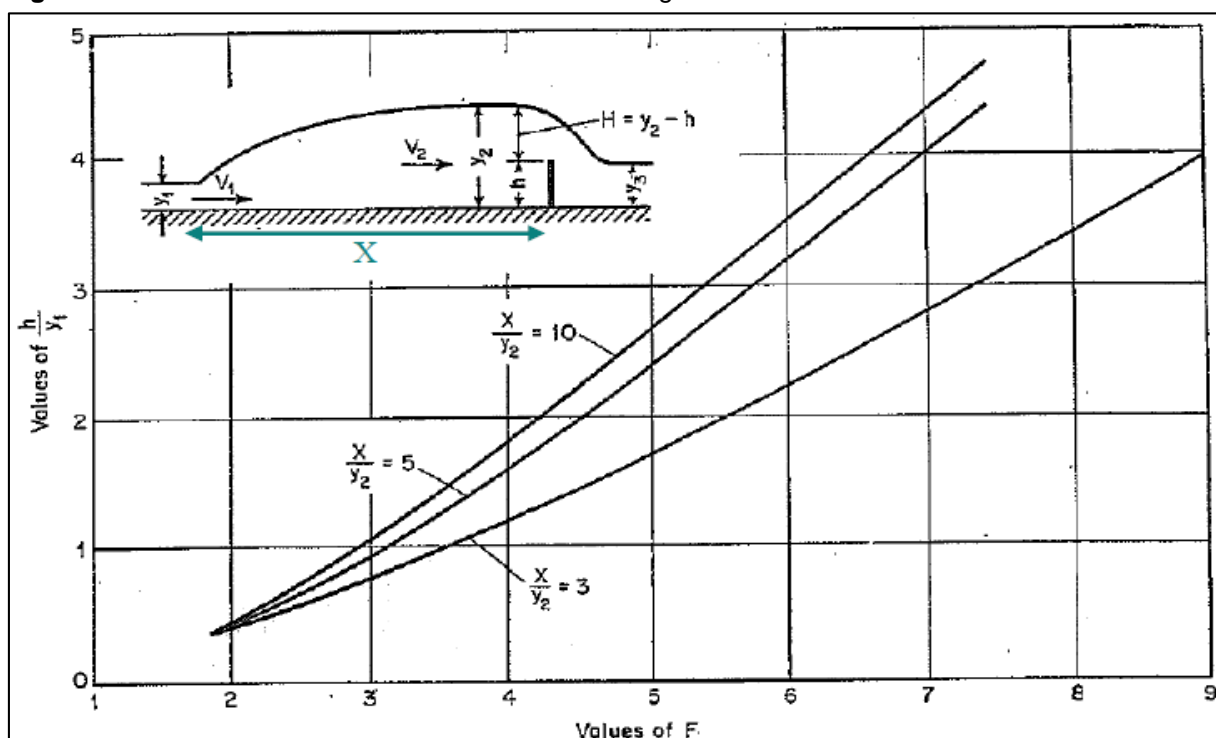
VAZÃO (m ³ /s)	LARGURA (m)	PROFUNDIDADE MONTANTE (m)	Nº FROUDE MONTANTE	PROFUNDIDADE JUSANTE (m)	VELOCIDADE DE JUSANTE (m/s)	COMPRIMENTO DO RESSALTO (m)
8,14	2,00	0,709	2,18	1,86	2,19	7,93

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Conforme implantação do sistema extravasor da Estrutura de Desvio, a bacia de dissipação foi projetada com 2,00 m de base, 2,00 m de altura e 20,00 m de extensão, estando assim apta a conduzir a vazão de projeto associada ao TR de 10.000 anos.

Para maior garantia que o ressalto hidráulico ocorra dentro da extensão da bacia de dissipação de energia, sem impactos no trecho de jusante (canal de restituição), foi realizado o dimensionamento de uma soleira delgada na bacia de dissipação, conforme metodologia indicada por Chow et al. (1981), apresentada na Figura 4.10.

Figura 4.10. Ábaco de dimensionamento da soleira delgada

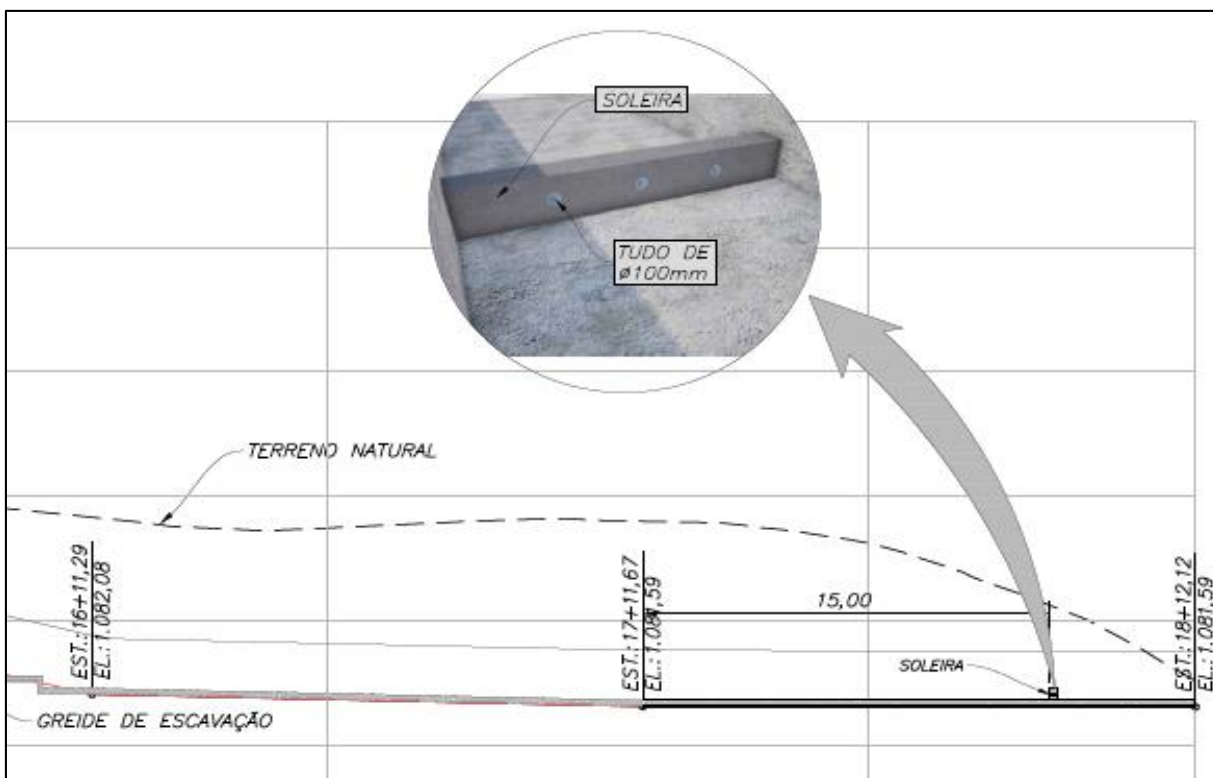


Fonte: Chow et al. (1981); DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Considerando os resultados apresentados na Tabela 4.9 e a curva intermediária (de projeto) da Figura 4.10, a soleira de jusante deve possuir uma altura “h” de 0,50 m e ser alocada a uma distância mínima “X” de 9,30 m da entrada da bacia de dissipação.

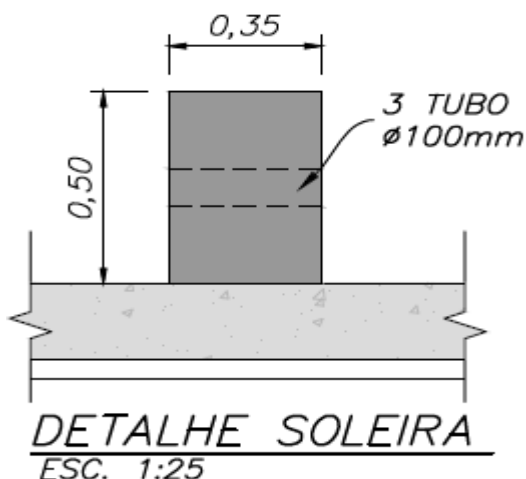
A seguir na Figura 4.11 e Figura 4.12, são apresentados os detalhes de implantação da soleira delgada na bacia de dissipação da Estrutura de Desvio.

Figura 4.11. Locação da soleira delgada – Planta



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Figura 4.12. Detalhes da soleira delgada



Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

4.4.7.3.2. Canal de Restituição

Para a definição do diâmetro médio dos blocos no canal de restituição, trecho à jusante da bacia de dissipação proposta, dada a velocidade do escoamento ao final da bacia, utilizou-se os critérios centrados na Equação 4.5, segundo Escarameia e Mays (1998).

$$Dp = Ks \cdot Ct \cdot \frac{vb^2}{2g(s-1)} \quad \text{Equação 4.5}$$

Em que:

- Dp denota diâmetro médio das pedras, em m;
- Ks denota fator de correção granulométrica, valor médio usual de 1,15;
- Ct denota coeficiente de turbulência do escoamento;
- Vb denota velocidade de escoamento junto ao leito, em m/s;
- S denota densidade média dos blocos, adotado 2,6, em kg/m³;
- g denota gravidade, em m/s².

Salienta-se que o coeficiente de turbulência do escoamento foi determinado pela Equação 4.6, que apresenta essa variável em função da Intensidade de Turbulência (IT), o qual foi adotado o IT no valor de 0,60, devido a se tratar de situação de extremidades de estruturas onde serão locados os dissipadores de energia.

$$Ct = 12,3(IT - 020) \quad \text{Equação 4.6}$$

A velocidade de escoamento junto ao leito Vb, (aproximadamente 90% da profundidade) é variável de acordo com o valor do IT, neste caso foi determinado pela Equação 4.7, devido valor do IT ser de 0,60.

$$Vb = (1,36 - 1,48 \cdot IT)U \quad \text{Equação 4.7}$$

Em que:

- U denota velocidade no final da bacia de dissipação, em m/s.

Assim, o canal de restituição deverá ser construído com blocos lançados de enrocamento de diâmetros de aproximadamente 0,30 m e espessura dos enrocamentos de 0,60 m.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões dos estudos hidrológicos e hidráulicos apresentados no presente relatório são que a Estrutura de Desvio foi dimensionada com sistema extravasor para vazão de projeto com TR de 10.000 anos, tendo seu dispositivo com função de desvio da vazão provinda do curso natural e deságue a jusante do Dique de Contenção de Sedimentos. Ressalta-se que, devido ser uma estrutura de desvio com reservatório de pequeno porte, o sistema extravasor do mesmo foi projetado para vazões afluentes sem considerar amortecimento no reservatório.

Ademais, é válido destacar que a estrutura em questão conta com bacia de dissipação e canal de restituição com blocos em enrocamento para atenuar a velocidade do retorno hídrico ao leito natural do córrego da Cava, anulando ou minimizando o impacto hidrológico no corpo d'água receptor em termos de erodibilidade, prevenindo revolvimento de sedimentos no leito e, conseqüentemente, evitando o assoreamento do canal a jusante e conservando a qualidade da água.

Portanto, sendo apresentado o projeto e o devido dimensionamento hidráulico, solicita-se a avaliação e o deferimento desta outorga para regularização de desvio total de curso de água, com finalidade de direcionar o fluxo hídrico do contribuinte sudoeste do córrego da Cava a jusante do Dique de Contenção de Sedimentos e, assim, devolvê-lo para o meio ambiente com a mesma qualidade em que foi captado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT, **NBR. 13028, de 14 de Novembro de 2017**. Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragem para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology McGraw-Hill Book Company**. New York, 1988.

ESCARAMEIA, M. **River and Channel Revertments, a design manual**. Thomas Telford Limited, 1988. 268 p.

FREITAS, L.; BUENO, E.; LEMOS, R. **Dimensionamento Hidráulico Do Dique De Sedimentos**. Belo Horizonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos Ltda, 2021a.

HUFF, F. A., 1967. **Time distribution of rainfall in heavy storms, Water Resour.** Department os Energy and Natural Resources. Illinois State Water Survey.

Infraestrutura De Dados Espaciais Do Sistema Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos – **IDE SISEMA**. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 18 maio 2022.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. **Formulários para elaboração de processos de outorga**. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/outorga/formularios>. Acesso em 07 jun 2022.

MATOSO, L.; SANTOS, P.; OLIVEIRA, T.; FAGUNDES, J. Projeto Executivo – **Expansão Da Pilha 01 – Dique De Sedimentos**. Belo Horizonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos, 2021b.

SCS, U. S. **Urban hydrology for small watersheds, technical release no. 55 (TR-55)**. US Department of Agriculture, US Government Printing Office, Washington, DC, 1986.

SILVA, A. P. M.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**: Relatório de pesquisa. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2012.

SISCCOH. **Sistema para Cálculo de Componentes Hidráulicos**. Manual Técnico do Programa. Versão 1.1. Escola de Engenharia da UFMG. Pimenta de Ávila Engenharia. Maio, 2019.

SUDECAP. **Procedimento para elaboração e apresentação de projetos de infraestrutura**. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 7ª Edição. Abril, 2017. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sudecap/projetos-de-infraestrutura> Acesso em março de 2020.

UFV / CETEC / UFLA / FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010a. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/> Acesso em: 18 fev. 2020.

United States Department of the Interior-Bureau of Reclamation - USBR. **Design of Small Dams**. 2nd Edition, Washington: Bureau of reclamation, 1987. 859 p.

ANEXO

ANEXO I

Anotação de Responsabilidade Técnica

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20221478996

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL

1. Responsável Técnico

EMANUELLE ZORDAN DE MELO

Título profissional: ENGENHEIRA AMBIENTAL

RNP: 1414483716

Registro: MG0000193660D MG

2. Dados do Contrato

Contratante: EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA

CPF/CNPJ: 14.357.805/0001-00

ALAMEDA MARÍLIA DE DIRCEU

Nº: 316

Complemento:

Bairro: JARDIM INCONFIDÊNCIA

Cidade: UBERLÂNDIA

UF: MG

CEP: 38411276

Contrato: Não especificado

Celebrado em:

Valor: R\$ 1.000,00

Tipo de contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

Ação Institucional: Outros

3. Dados da Obra/Serviço

OUTROS CÔRREGO DA MATA, S/N

Nº: S/N

Complemento:

Bairro: CORREGO DA MATA

Cidade: ARAXÁ

UF: MG

CEP: 38183903

Data de Início: 20/09/2022

Previsão de término: 20/09/2024

Coordenadas Geográficas: 0, 0

Finalidade: AMBIENTAL

Código: Não Especificado

Proprietário: COMPANHIA MINERADORA DO PIROCLORO DE ARAXA

CPF/CNPJ: 33.131.541/0001-08

4. Atividade Técnica

14 - Elaboração	Quantidade	Unidade
40 - Estudo > MEIO AMBIENTE > GESTÃO AMBIENTAL > #7.6.6 - DE ESTUDOS AMBIENTAIS	1,00	un
40 - Estudo > SANEAMENTO AMBIENTAL > SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA > DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA > #6.1.3.3 - CAPTAÇÃO SUPERFICIAL DE ÁGUA	1,00	un
40 - Estudo > SANEAMENTO AMBIENTAL > SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA > DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA > #6.1.3.6 - TANQUES OU RESERVATÓRIOS DE ÁGUA	1,00	un

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

RESPONSÁVEL TÉCNICA PELOS RELATÓRIOS DE OUTORGA PARA FINS DE REGULARIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DE BARRAMENTO SEM CAPTAÇÃO PARA CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS, CANALIZAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA E DESVIO DE CURSO D'ÁGUA; PARA FINS DE AMPLIAÇÃO DE PILHA DE ESTERIL E IMPLANTAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS

6. Declarações

- Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.
- A Resolução nº 1.094/17 instituiu o Livro de Ordem de obras e serviços que será obrigatório para a emissão de Certidão de Acervo Técnico - CAT aos responsáveis pela execução e fiscalização de obras iniciadas a partir de 1º de janeiro de 2018. (Res. 1.094, Confea).
- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: <https://www.crea-mg.org.br/transparencia/legpd/politica-privacidade-dados>. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente de que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros.
- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.

7. Entidade de Classe

APEA-TMAPS - Associação dos Profissionais de Engenharia Ambiental do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Sul de Minas

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.sitac.com.br/publico/>, com a chave: 2cC68
Impresso em: 23/09/2022 às 11:07:17 por: , ip: 177.106.152.112www.crea-mg.org.br
Tel: 0312732crea-mg@crea-mg.org.br
Fax:



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20221478996

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

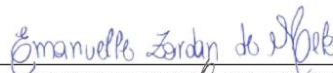
INICIAL

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Uberlândia, 23 de setembro de 2022

Local data



EMANUELLE ZORDAN DE MELO - CPF: 105.334.826-66

14.357.805/0001-00

EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL

LTDA-EPP

Rua Alexandre Vargas de Toledo - 310

Uberlândia - MG

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Valor da ART: **R\$ 88,78** Registrada em: **22/09/2022** Valor pago: **R\$ 88,78** Nosso Número: **8599563611**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.sitac.com.br/publico/>, com a chave: 2cC68
 Impresso em: 23/09/2022 às 11:07:18 por: , ip: 177.106.152.112

www.crea-mg.org.br
 Tel: 0312732

crea-mg@crea-mg.org.br
 Fax:

