

RELATÓRIO TÉCNICO DE OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA CANALIZAÇÃO 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 DE CANALIZAÇÃO 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	12
Figura 3.1. Mapa de localização da Área Diretamente Afetada (ADA), que compreende a expansão da Pilha de Estéril 01 e o Dique de Contenção de Sedimentos, bem como representação da drenagem natural local	15
Figura 3.2. Arranjo Geral e identificação dos drenos de fundo	17
Figura 4.1. Gráfico do monitoramento das vazões ao longo da série histórica, com destaque para o maior valor aferido.....	21
Figura 4.2. Curvas granulométricas dos estéreis e fundação da Pilha de Estéril 01	26
Figura 4.3. Faixas granulométricas dos componentes do dreno de fundo	27
Figura 4.4. Seções típicas A) dos drenos Oeste, Leste e Sudoeste e B) do dreno Principal	28
Figura 4.5. Diagrama de tensões mobilizadoras em um revestimento em geomembrana ...	29
Figura 4.6. Seções típicas dos drenos envelopados A) Oeste, Leste, Sudoeste e B) Principal	31
Figura 5.1. A) Seção da est. 1+0 – Dreno Sudoeste; B) Seção da est. 24+0 – Dreno Oeste; C) Seção da est. 7+0 – Dreno Leste; D) Seção da est. 5+0 – Dreno Principal.....	34
Figura 5.2. Diagrama s'x t – Amostras PI-03 e PI-04	36
Figura 5.3. Diagrama s'x t – Amostras PI-03 e PI-04 - Linha de tendência.....	36
Figura 5.4. Seção Dreno Sudoeste – Estaca 1+0 - Talude Oeste.....	38
Figura 5.5. Seção Dreno Sudoeste – Estaca 1+0 - Talude Leste	38
Figura 5.6. Seção Dreno Oeste – Estaca 24+0 - Talude Oeste	39
Figura 5.7. Seção Dreno Oeste – Estaca 24+0 - Talude Leste	39
Figura 5.8. Seção Dreno Leste – Estaca 7+0 – Talude Oeste	40
Figura 5.9. Seção Dreno Leste – Estaca 7+0 – Talude Leste	40
Figura 5.10. Seção Dreno Principal – Estaca 5+0 – Talude Oeste	41
Figura 5.11. Seção Dreno Principal – Estaca 5+0 – Talude Leste	41
Figura 6.1. Gráfico comparativo dos principais parâmetros morfométricos	46

Figura 6.2. Localização dos pontos de aferição de vazões na bacia hidrográfica do córrego da Cava	48
Figura 6.3. Gráficos da série histórica de vazões próximas ao exutório do córrego da Cava	49
Figura 6.4. Gráfico de vazões médias de dois períodos representativos da série histórica..	53
Figura 6.5. Gráfico de vazões obtidos em campo em apenas uma campanha em abril de 2022	54
Figura 6.6. Representação da estrutura de desvio e do emboque do canal de desvio.....	56
Figura 7.1. Esquema 3D do medidor de vazão, sem escala	57
Figura 7.2. Esquema de corte do controle do medidor de vazão	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Características hidrológicas dos cursos d'água locais	14
Tabela 3.2. Coordenadas de início e fim dos drenos em UTM (Zona 23K), bem como o comprimento de cada trecho	16
Tabela 4.1. Vazões aferidas na estação fluviométrica VT-07 ao longo de série história em monitoramento realizado pela CBMM	20
Tabela 4.2. Determinação das vazões dos drenos	22
Tabela 4.3. Coeficientes de permeabilidade dos materiais	23
Tabela 4.4. Dimensionamento dos drenos de fundo	23
Tabela 6.1. Resultados dos parâmetros morfométricos	44
Tabela 6.2. Coordenadas geográficas dos pontos de aferição de vazão.....	46
Tabela 7.1. Curva de descarga para vertedores triangulares a ser aplicada para monitoramento da vazão – Fórmula de Thompson	59
Tabela 7.2. Dimensionamento hidráulico do medidor de vazão da drenagem de fundo.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1. Grau de Segurança esperado – Vidas humanas.....	32
Quadro 5.2. Grau de Segurança esperado – Perdas materiais e ambientais	32
Quadro 5.3. Fatores de Segurança	33
Quadro 5.4. Resumo das análises de estabilidade para escavação do dreno de fundo.....	37
Quadro 6.1. Fórmulas específicas para obtenção dos parâmetros morfométricos	44
Quadro 6.2. Síntese das possíveis perdas e impactos aos recursos hídricos da área diretamente afetada.....	55

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	8
1.1. Empreendedor.....	9
1.2. Consultoria Ambiental	9
1.3. Equipe técnica responsável pela elaboração do relatório	10
2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	11
3. DADOS PARA REQUERIMENTO DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA E INFORMAÇÕES GERAIS	13
3.1. Descrição hidrológica e disponibilidade hídrica	13
3.2. Justificativa da realização da intervenção.....	16
3.3. Coordenadas dos pontos de início e fim das canalizações e representação esquemática.....	16
3.4. Dique de Contenção de Sedimentos.....	18
3.5. Estrutura de desvio do contribuinte sudoeste	18
4. DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS DE FUNDO.....	19
4.1. Tratamento de fundação	19
4.2. Medição de vazões	19
4.3. Metodologia.....	21
4.4. Dimensionamento geométrico.....	22
4.5. Dimensionamento granulométrico.....	23
4.6. Definição de solo base	25
4.7. Dimensionamento das transições	26
4.8. Concepção dos drenos de fundo	27
4.9. Sistema de impermeabilização	29
5. ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	32
5.1. Seções geológico-geotécnicas.....	33
5.2. Parâmetros geotécnicos.....	35
5.3. Análises de estabilidade.....	37

6.	ESTUDOS FISIAGRÁFICOS	43
6.1.	Aspectos morfométricos e hidrológicos das bacias dos córregos Bocaina e Cava	43
6.2.	Caracterização das vazões da bacia hidrográfica do córrego da Cava em pontos e períodos distintos	46
6.3.	Perdas e impactos aos recursos hídricos no local de implantação da pilha de estéril	54
6.4.	Mitigação de perdas e impactos nas águas superficiais previsto pelo Projeto Executivo.....	55
7.	MEDIDOR DE VAZÃO	57
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXO	63

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). No entanto, 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 talwegues sob a Pilha e o Dique de Contenção de Sedimentos para garantia de permanência de suas funcionalidades hidrológicas e estabilidade das estruturas. Salienta-se que o canal da terceira nascente (contribuinte sudoeste) fluirá naturalmente em quase sua totalidade às margens da estrutura de deposição de estéril. Porém, devido ao avanço do reservatório do Dique de Contenção de Sedimentos sobre seu canal e implantação de pátio de manobra, também será necessário drená-lo próximo a sua foz, em trecho abaixo da

interseção de desvio do mesmo para desague no leito do córrego da Cava, a jusante do Dique de Contenção de Sedimentos.

Sendo assim, o presente estudo consiste em um relatório técnico de outorga como parte dos itens necessários para requerimento da canalização 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.

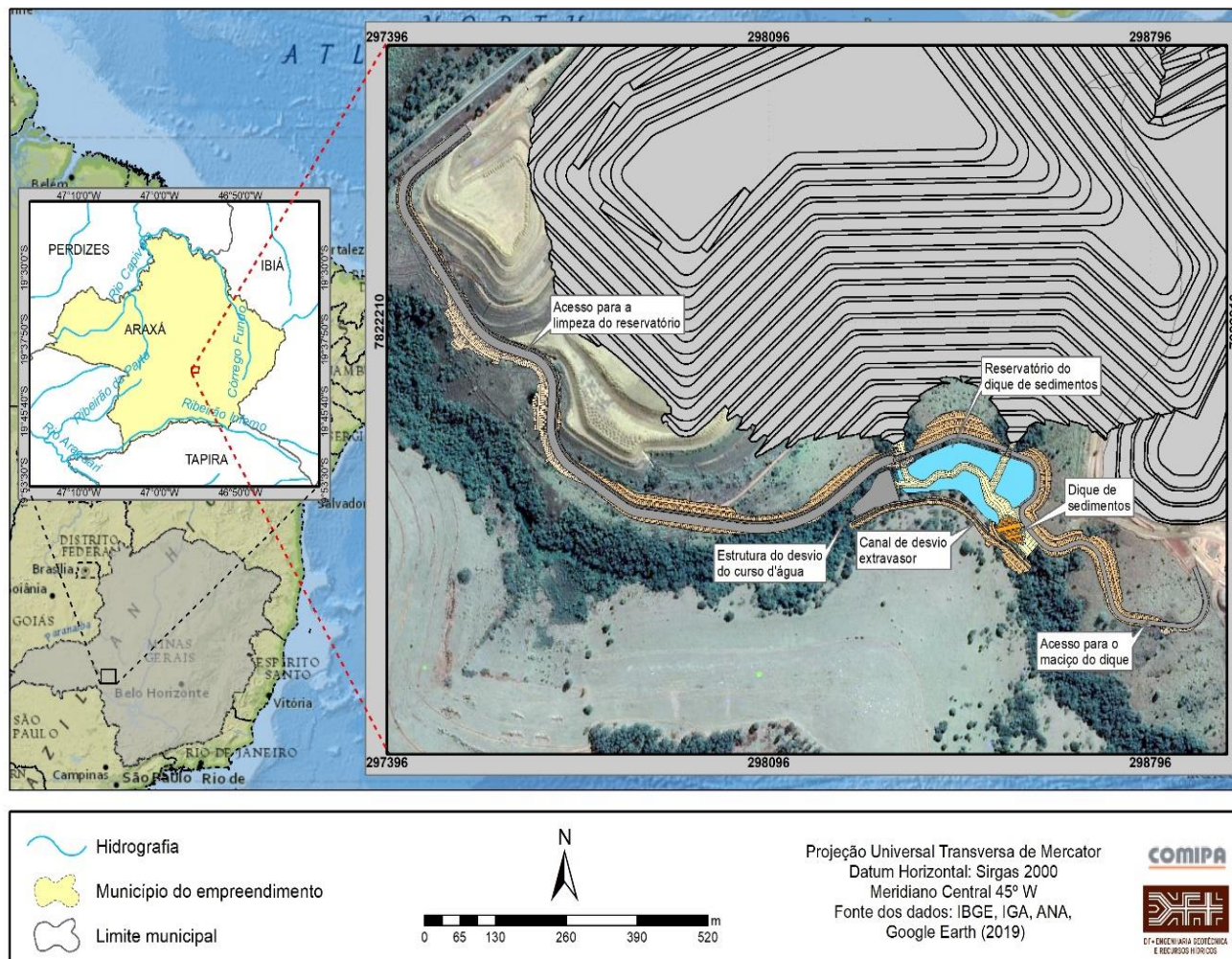
A empresa COMIPA, responsável pela extração do minério nas reservas de nióbio de titularidade da CBMM e CODEMIG, faz todo o processo de lavra e transporte da mina até o pátio de homogeneização e posteriormente transfere o material para unidade de concentração sobre responsabilidade da CBMM que o beneficia. 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 necessária a instalação de um sistema de drenos de fundo da pilha na cabeceira do córrego da Cava, local com melhor viabilidade apontado dentro dos possíveis listados nos estudos das alternativas locais.

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, canal de desvio e visão parcial dos drenos de fundo localizados sob o reservatório do Dique na imagem, alvos 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 córrego da Cava, bem como especificações técnicas dos drenos de fundo propostos 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. Descrição hidrológica e disponibilidade hídrica

A regularização pleiteada refere-se às canalizações de talvegues na cabeceira 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 3.1.

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

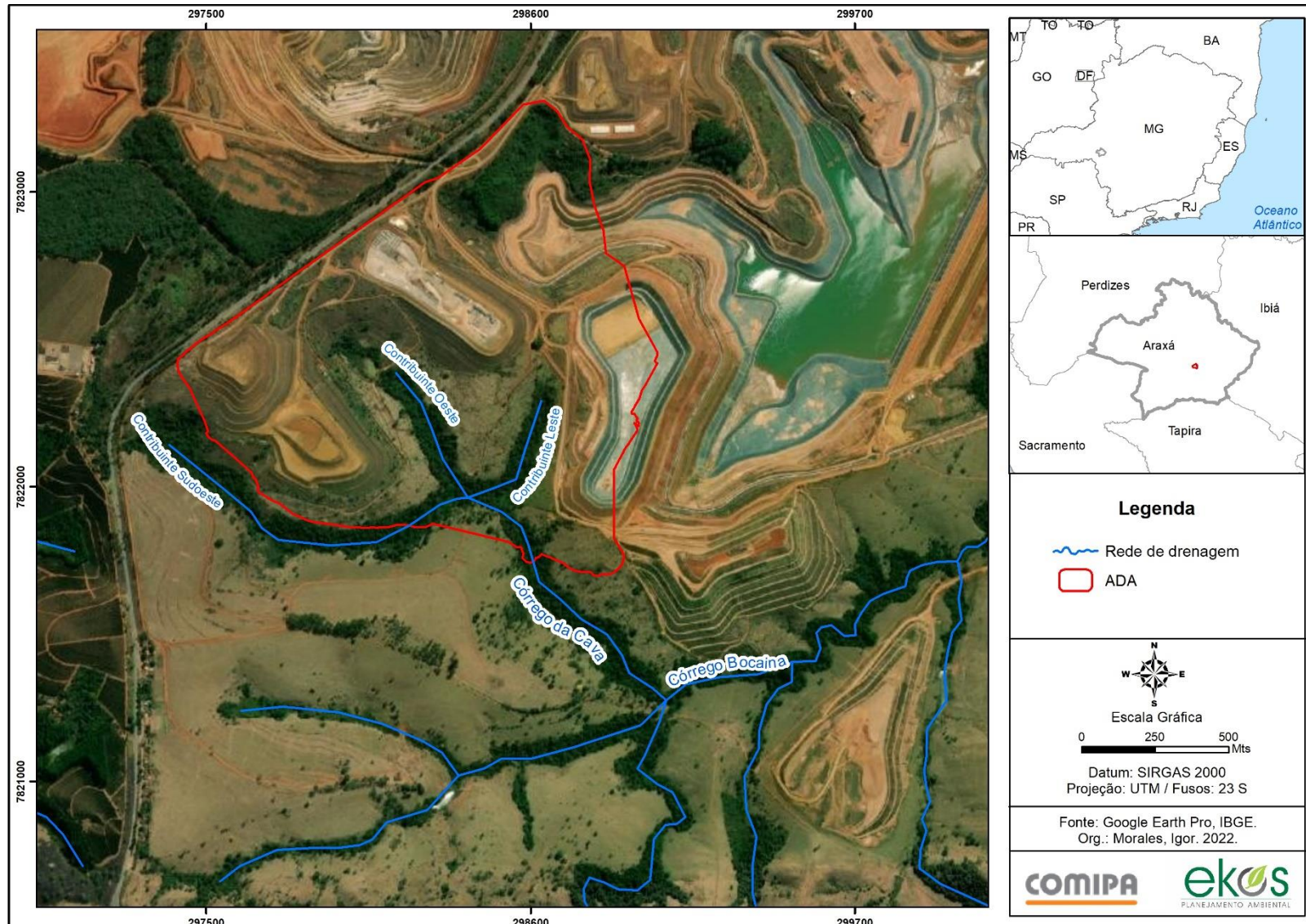
Fonte: Adaptado de IDE-Sisema (2022).

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



3.2. Justificativa da realização da intervenção

A pilha proposta está situada em uma região íngreme, com talvegues de ocorrências de drenagens ativas, havendo necessidade da implantação de um sistema de drenagem interna nos fundos dos talvegues com o objetivo de coletar as águas provenientes das nascentes e conduzi-las, de forma ordenada e sem contaminação, até o ponto de deságue, evitando saturações e conseqüente desestabilização dos maciços.

Dessa forma, os drenos de fundo serão implantados sob a região dos talvegues de implantação da expansão da Pilha de Estéril 01 e sob toda a região do Dique de Contenção de Sedimentos, incluindo seu reservatório, com exceção das regiões de encosta onde, devido sua declividade, torna-se inexecuível a implantação do dreno de fundo, tendo seu exutório localizado a jusante do Dique.

3.3. Coordenadas dos pontos de início e fim das canalizações e representação esquemática

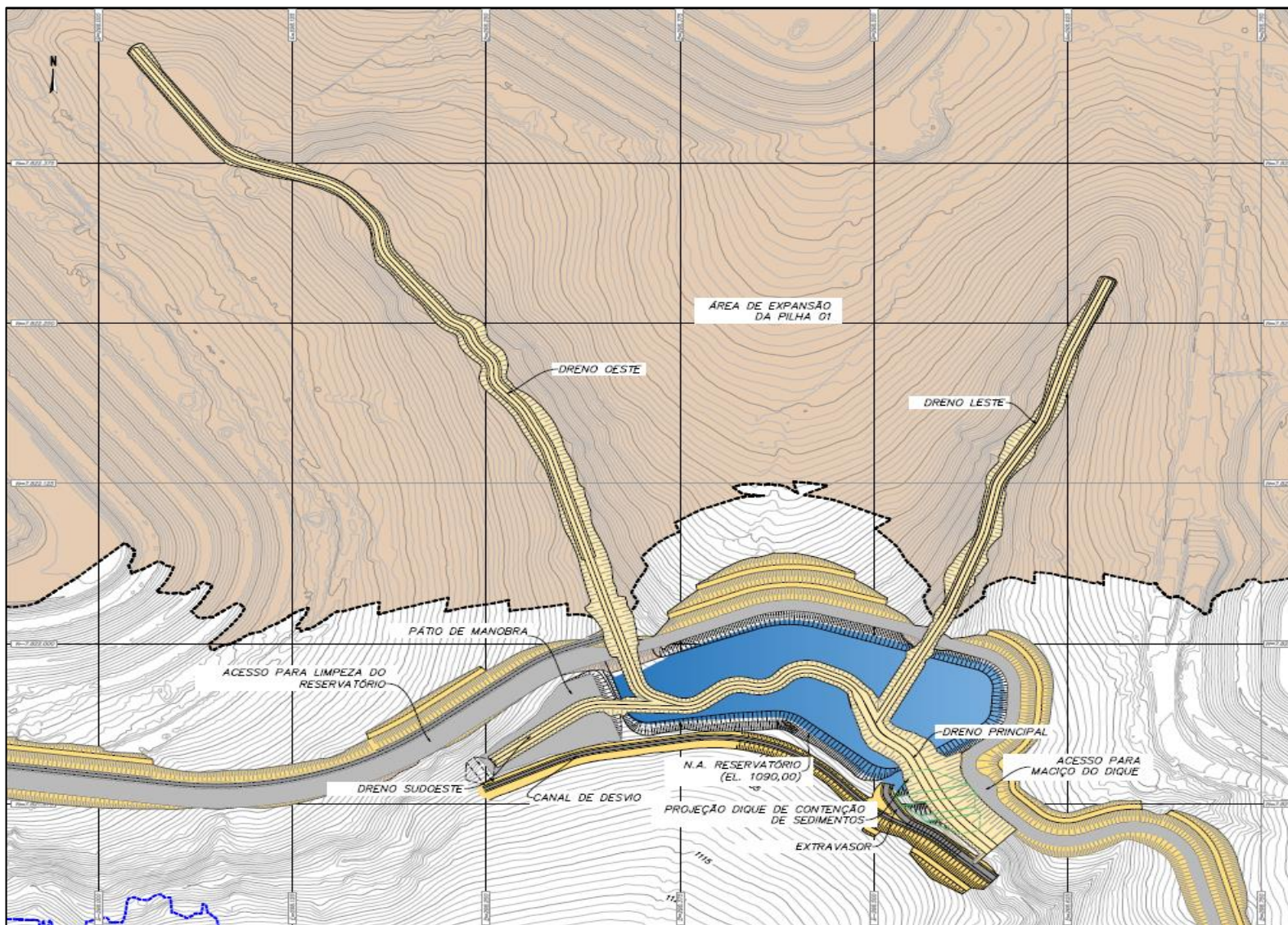
O dimensionamento da drenagem interna da expansão da Pilha de Estéril 01 foi subdividida em 04 (quatro) drenos, aqui denominados Oeste, Sudoeste, Leste e Principal, conforme apresentado na Figura 3.2. Para mais, a Tabela 3.2 expõe as coordenadas de início e fim de cada dreno, além de seus comprimentos.

Tabela 3.2. Coordenadas de início e fim dos drenos em UTM (Zona 23K), bem como o comprimento de cada trecho

		DRENOS			
		OESTE	SUDOESTE	LESTE	PRINCIPAL
INÍCIO	Longitude (E)	298.022,29 m	298.255,04 m	298.651,44 m	298.500,79 m
	Latitude (S)	7.822.463,79 m	7.821.907,86 m	7.822.284,30 m	7.821.938,96 m
FIM	Longitude (E)	298.500,79 m	298.375,41 m	298.500,79 m	298.574,435 m
	Latitude (S)	7.821.938,96 m	7.821.951,61 m	7.821.938,96 m	7.821.837,41 m
COMPRIMENTO		791,00 m	135,00 m	380,00 m	125,00 m

Fonte: Desenho 110.120.0074, DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 3.2. Arranjo Geral e identificação dos drenos de fundo



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

3.4. 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 no que tange à possibilidade de erosões pluviais que desencadeiam carreamento de sólidos aos cursos hídricos e conseqüente alteração da qualidade das águas, está prevista 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.

Ressalta-se que o Dique será assentado sobre o dreno de fundo projetado para a pilha, e na região onde o mesmo passa sob o reservatório do Dique, foi previsto o envelopamento do dreno com geomembrana de PEAD para evitar eventual comprometimento da qualidade da água conduzida pelos sedimentos armazenados no reservatório. Sobre a geomembrana foi também proposta uma camada de 40 cm de selo argiloso. Acima desta é prevista ainda uma camada de 50 cm de enrocamento, com intuito de promover proteção do dreno de fundo frente às atividades de limpeza do reservatório.

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 abordados no Relatório Técnico de Outorga para o Uso de código 05 – Barramento em curso de água, sem captação, protocolado concomitantemente ao presente documento.

3.5. Estrutura de desvio do contribuinte sudoeste

A montante da ombreira direita do Dique de Sedimentos foi projetada uma estrutura de desvio, cuja função será de desviar o curso de água natural proveniente do talvegue existente à sudoeste da pilha (e que não será ocupado por esta estrutura) 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. O desvio ocorrerá através de um canal retangular em concreto armado que será implantado margeando o reservatório do dique, conforme especificações técnicas abordadas no Relatório Técnico de Outorga para o Uso de código 12 - Desvio Parcial ou Total de Curso de Água, protocolado concomitantemente a esse documento.

4. DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS DE FUNDO

O presente item tem como finalidade apresentar os estudos realizados para o tratamento de fundação e dimensionamento dos drenos de fundo referentes ao projeto de expansão da Pilha de Estéril 01 . O estudo, denominado como Dimensionamento do Dreno de Fundo, de responsabilidade da empresa DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b), foi elaborado pelas profissionais Laura Matoso e Elisângela Nunes, sob revisão e coordenação do projeto de Thiago Oliveira e revisão e supervisão técnica de Júnio Fagundes.

4.1. Tratamento de fundação

Como não foi possível a realização de investigações na região dos talwegues na área da pilha, impossibilitando, conseqüentemente, a caracterização da fundação no local, foi acordado entre as empresas CBMM e DF+ o estabelecimento de algumas premissas geométricas de escavação, visando a remoção de todo o material de solo mole eventualmente presente nos talwegues:

- Drenos Leste, Oeste e Sudoeste = 3 metros de largura para cada lado a partir do eixo; taludes de escavação com inclinação 1,5H:1V; altura variável;
- Dreno Principal = 5 metros de largura para cada lado a partir do eixo; taludes de escavação com inclinação 1,5H:1V; altura 3 metros.

É importante destacar que o volume de escavação previsto poderá sofrer alteração após a autorização da supressão vegetal e da liberação de investigações na área dos talwegues.

4.2. Medição de vazões

A CBMM realiza o monitoramento das vazões ao final do conjunto de drenagens correspondentes aos talwegues de influência da área de expansão da Pilha de Estéril 01 , a jusante da locação prevista para o dique de sedimentos, no córrego da Cava próximo à sua seção de controle, em estação fluviométrica denominada como VT-07.

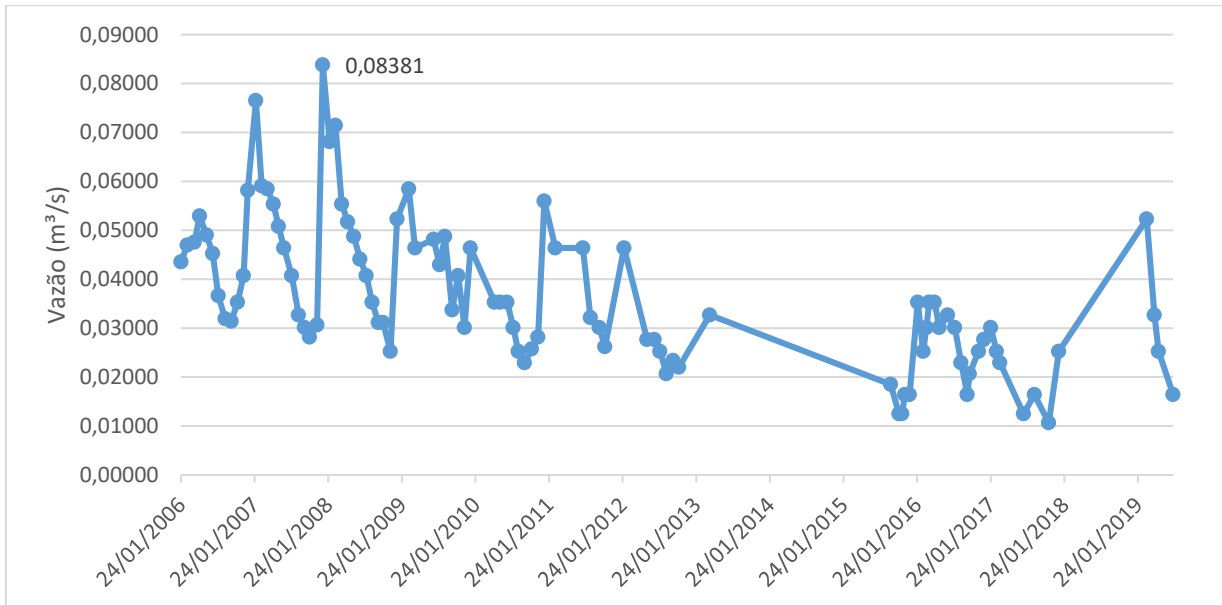
A Tabela 4.1 e a Figura 4.1 apresentam as leituras de vazões fornecidas pela CBMM, obtidas entre janeiro de 2006 e julho de 2019. Embora não tenham sido obtidas de forma regular durante este período, estas medições foram úteis para a etapa de dimensionamento da drenagem de fundo da pilha.

Tabela 4.1. Vazões aferidas na estação fluviométrica VT-07 ao longo de série história em monitoramento realizado pela CBMM

DATA	VAZÃO (m ³ /s)	DATA	VAZÃO (m ³ /s)	DATA	VAZÃO (m ³ /s)	DATA	VAZÃO (m ³ /s)
24/01/2006	0,04352	31/01/2008	0,06810	30/07/2010	0,03013	27/01/2016	0,03529
24/02/2006	0,04697	29/02/2008	0,07142	24/08/2010	0,02525	23/02/2016	0,02525
31/03/2006	0,04756	31/03/2008	0,05536	24/09/2010	0,02292	10/03/2016	0,03013
26/04/2006	0,05291	30/04/2008	0,05171	29/10/2010	0,02573	24/03/2016	0,03529
30/05/2006	0,04903	30/05/2008	0,04873	30/11/2010	0,02815	19/04/2016	0,03529
30/06/2006	0,04524	30/06/2008	0,04409	31/12/2010	0,05597	13/05/2016	0,03013
28/07/2006	0,03662	31/07/2008	0,04071	24/02/2011	0,04639	24/06/2016	0,03268
31/08/2006	0,03191	29/08/2008	0,03529	11/07/2011	0,04639	29/07/2016	0,03013
30/09/2006	0,03140	29/09/2008	0,03114	17/08/2011	0,03216	29/08/2016	0,02292
31/10/2006	0,03529	22/10/2008	0,03114	30/09/2011	0,03013	29/09/2016	0,01640
30/11/2006	0,04071	28/11/2008	0,02525	28/10/2011	0,02621	10/10/2016	0,02067
21/12/2006	0,05815	31/12/2008	0,05231	31/01/2012	0,04639	24/11/2016	0,02525
30/01/2007	0,07650	27/02/2009	0,05846	24/05/2012	0,02766	20/12/2016	0,02766
28/02/2007	0,05909	30/03/2009	0,04639	29/06/2012	0,02766	23/01/2017	0,03013
28/03/2007	0,05846	30/06/2009	0,04814	27/07/2012	0,02525	21/02/2017	0,02525
27/04/2007	0,05536	30/07/2009	0,04296	28/08/2012	0,02067	10/03/2017	0,02292
23/05/2007	0,05081	25/08/2009	0,04873	30/09/2012	0,02338	05/07/2017	0,01248
18/06/2007	0,04639	30/09/2009	0,03371	29/10/2012	0,02201	28/08/2017	0,01640
27/07/2007	0,04071	30/10/2009	0,04071	31/03/2013	0,03268	07/11/2017	0,01065
30/08/2007	0,03268	30/11/2009	0,03013	15/09/2015	0,01849	27/12/2017	0,02525
28/09/2007	0,03013	30/12/2009	0,04639	26/10/2015	0,01248	08/03/2019	0,05231
24/10/2007	0,02815	28/04/2010	0,03529	10/11/2015	0,01248	15/04/2019	0,03268
30/11/2007	0,03064	25/05/2010	0,03529	24/11/2015	0,01640	06/05/2019	0,02525
28/12/2007	0,08381	30/06/2010	0,03529	17/12/2015	0,01640	17/07/2019	0,01640

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

Figura 4.1. Gráfico do monitoramento das vazões ao longo da série histórica, com destaque para o maior valor aferido



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

Para este projeto, será adotada a vazão máxima de 0,084 m³/s e um F.S. = 1,5, conforme recomendação da NBR 13.029:2017 para os casos em que há monitoramento local. Salienta-se que tal valor foi registrado em dezembro de 2007 e foi selecionado para o projeto a favor da segurança, visto que desde então os registros de vazões indicam uma tendência de redução, possivelmente relacionada à execução das células impermeabilizadas do entorno.

4.3. Metodologia

No Brasil, o sistema de drenagem interna de pilhas de estéril vem sendo dimensionado segundo aplicação da lei de Darcy, válida para regime de escoamento laminar (Darcy, 1859; Li et al. 1998) conforme Equação 4.1, a partir de vazões de projeto pontualmente medidas, conforme apresentado no item 4.2.

$$Q = k \cdot i \cdot A \qquad \text{Equação 4.1}$$

No regime laminar, em que a Lei de Darcy é válida, a velocidade de fluxo é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico:

$$V = k \cdot i \qquad \text{Equação 4.2}$$

Em que:

V = Velocidade de fluxo (m/s);

k = condutividade hidráulica do meio poroso (m/s);

i = Gradiente hidráulico (m/m).

4.4. Dimensionamento geométrico

O dimensionamento da drenagem interna da expansão da Pilha de Estéril 01 foi subdividida em 04 (quatro) drenos, aqui denominados Oeste, Leste, Sudoeste e Principal, conforme descritos no item 3.3.

De acordo com as medições fluviométricas realizadas em campo com o uso do micromolinete a jusante dos talwegues oeste e sudoeste e das leituras registradas no medidor de vazão VT-07, o talvegue sudoeste corresponde a cerca de 14% da vazão total, o talvegue oeste a 8% da vazão total e o talvegue leste + talvegue principal correspondem a 78% da vazão total. Desta forma, adotou-se 26% da vazão para o dreno leste, considerando a proporcionalidade do comprimento dos talwegues.

Para o cálculo do dreno principal, levou-se em conta 100% da vazão medida no VT-07, uma vez que os demais drenos deságuam no encontro com o talvegue principal, sendo este responsável por captar toda a água advinda das nascentes e encaminhá-la para jusante do dique de contenção de sedimentos sem que haja contaminação.

Desta forma, foi calculada a vazão correspondente de cada talvegue admitindo as porcentagens informadas, o volume de água medido no VT-07 e o F.S = 1,5, conforme recomendado na NBR 13.029/2017 e apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Determinação das vazões dos drenos

DRENO	% EQUIVALENTE	VAZÃO (m ³ /s)	VAZÃO C/ F.S. (m ³ /s)
Sudoeste	14%	0,01173	0,01760
Oeste	8%	0,00670	0,01006
Leste	26%	0,02179	0,03268
Principal	100%	0,08381	0,12571

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

A partir dos perfis longitudinais dos talwegues obtidos da topografia disponibilizada, foi possível definir os gradientes hidráulicos para cada um dos drenos em questão, admitindo, no dimensionamento, a declividade longitudinal média de acordo com os valores apresentados.

Para o dimensionamento foram adotados os coeficientes de permeabilidade conforme estabelecido por Vertermatti & Aguiar (1977), apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Coeficientes de permeabilidade dos materiais

MATERIAL	D50 (mm)	K (m/s)
Brita 0	6,0	0,05
Brita 1	12,7	0,15
Brita 2	25,4	0,25
Brita 3	38,1	0,45
Brita 4	40,0	0,80
Brita 5	80,0	1,00

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

A Tabela 4.4 a seguir mostra o resultado do dimensionamento de cada dreno. Nesta tabela, a “Área” indica a área mínima de núcleo drenante para atender a vazão de projeto estipulada na Tabela 4.2, enquanto “A trap” refere-se à área da seção transversal definida para o núcleo drenante. É importante ressaltar que a definição da área do núcleo drenante (A trap) considerou a geometria de escavação estipulada para o referido talvegue, conforme as premissas mencionadas anteriormente.

Tabela 4.4. Dimensionamento dos drenos de fundo

	TALVEGUE SUDOESTE	TALVEGUE OESTE	TALVEGUE LESTE	TALVEGUE PRINCIPAL
Inclinação	4%	5%	8%	2,5%
Vazão (L/s)	17,60	10,06	32,68	125,71
Material Núcleo	Brita 1	Brita 1	Brita 1	Brita 4
Área (m ²)	2,93	1,31	2,66	6,19
B (m)	7,32	7,32	7,32	12,04
h (m)	0,50	0,50	0,50	0,80
b (m)	5,82	5,82	5,82	9,64
A trap (m ²)	3,29	3,29	3,29	8,67

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

4.5. Dimensionamento granulométrico

Os filtros são geralmente especificados em termos de distribuição granulométrica, e obrigatoriamente eles devem ser, em relação ao tamanho das partículas do solo que estão protegendo (denominado por solo base), finos suficientes para impedir o carreamento de suas partículas, enquanto devem ser grosseiros suficientes para permitir a infiltração da água no processo de drenagem.

A partir dos cálculos apresentados no dimensionamento geométrico, foi possível definir o material a ser considerado como núcleo drenante para que cada um dos drenos atendesse a vazão estabelecida, conforme valores apresentados no item 4.4.

Desta forma, faz-se necessário a verificação e dimensionamento dos materiais de transição do sistema do dreno de fundo para atender aos requisitos de filtragem e de permeabilidade necessários nos intervalos, das faixas superiores e inferiores, referentes ao solo base e ao núcleo drenante.

Nesse sentido, dentre os diversos trabalhos que abordam o tema, foram utilizados os critérios propostos por Cruz (1996) no livro 100 Barragens Brasileiras, p.537, e pelos métodos recomendados por Fell et al. (2005). Tais critérios são definidos de acordo com a interface do material (coesivo, granular fino e granular), conforme apresentado a seguir:

Condição 1: Critério de contenção, ou seja, as dimensões dos vazios formados pelos grãos do filtro devem ser suficientemente pequenas de forma a possibilitar a retenção de partículas do material protegido (solo base). Síntese da capacidade de controlar e impedir a erosão do solo base;

Condição 2: Critério de permeabilidade, ou seja, o material do filtro deve ser permeável o suficiente para permitir o livre escoamento da água, sem alteração da sua estrutura granulométrica e capacidade de descarga impedindo a geração de grandes forças de percolação e poropressão;

Condição 3: O coeficiente de não uniformidade deve situar-se em determinado intervalo para reduzir segregação do material;

Condição 4: A permeabilidade do material granular deve ser igual ou superior a 10^{-2} cm/s para atender ao critério de permeabilidade;

Condições de Fell et al. (2005): Critério para garantir que a faixa projetada do filtro (faixa superior e inferior) seja relativamente estreita para impedir descontinuidade num intervalo específico da curva granulométrica, e suficientemente ampla para permitir a obtenção do material no mercado. Além do critério de uniformidade, para evitar a segregação de partículas.

4.6. Definição de solo base

O sistema do dreno de fundo da expansão da Pilha de Estéril 01 estará em contato com a fundação e com os estéreis, denominados neste estudo como solo base. A caracterização dos materiais da fundação verificados por meio do mapeamento geológico-geotécnico e dos estéreis disponibilizados pela CBMM para esse fim foram:

- Estéreis a serem disposto na Pilha de Estéril 01 provenientes das frentes de lavra da mina de nióbio de propriedade da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), no município de Araxá - MG.
- Material investigado da fundação da Pilha de Estéril 01 : Colúvio.

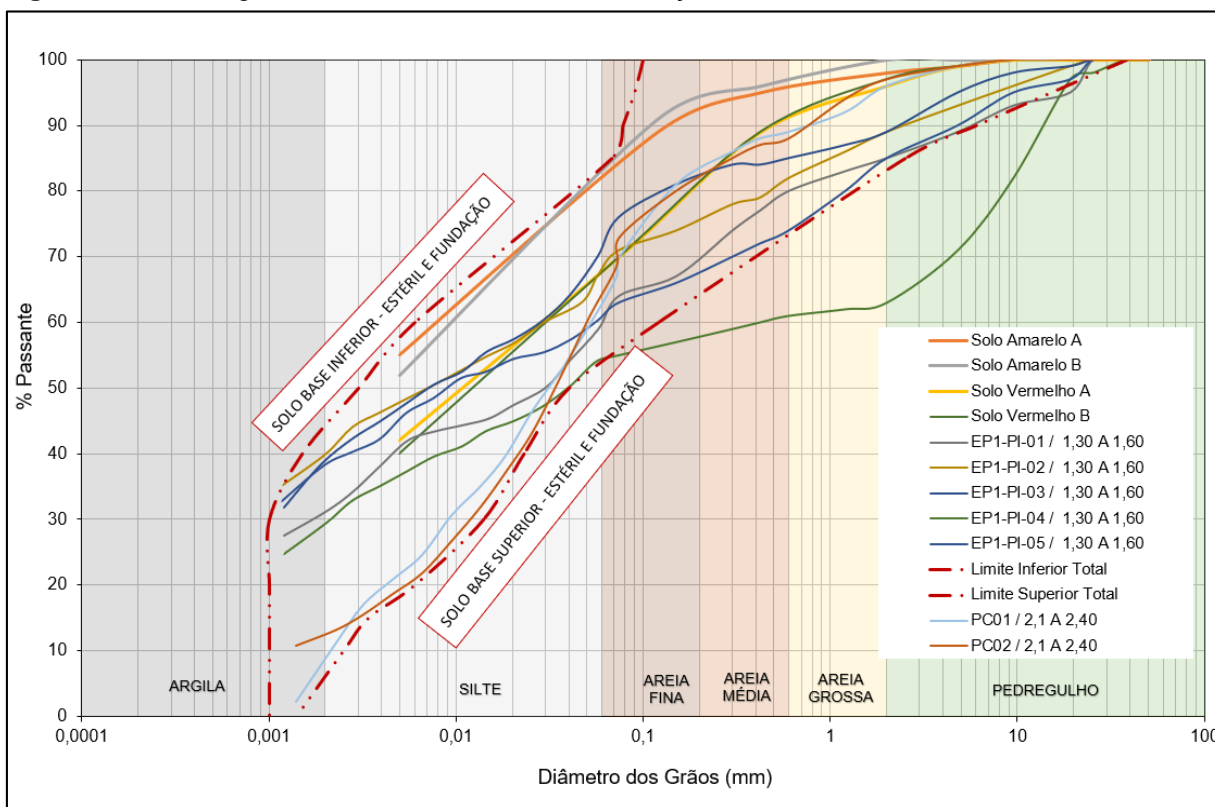
Para a caracterização do estéril, foram utilizadas as curvas granulométricas elaboradas pela empresa Golder Associates para o projeto executivo da Barragem B8 do próprio empreendimento.

Para o material da fundação da expansão da Pilha de Estéril 01 foram utilizados os ensaios de granulometria e sedimentação realizados conforme especificação técnica, além dos resultados dos ensaios realizados nas amostras indeformadas para análise da fundação do projeto da célula 4, cujo material prospectado foi o colúvio, de acordo com os dados das investigações.

A Figura 4.2 apresenta as curvas granulométricas dos materiais supramencionados, assim como os limites inferior e superior do nosso solo base. Vale destacar que para a definição dos limites, foram desconsiderados os resultados correspondentes a amostra EP1-PI-04, uma vez que os resultados dispersaram muito, quando comparadas às demais curvas granulométricas da fundação.

A partir das curvas granulométricas dos estéreis provenientes da mina de Nióbio e de amostras da fundação, foram definidas as faixas (superior e inferior) do Solo Base.

Figura 4.2. Curvas granulométricas dos estêreis e fundação da Pilha de Estéril 01

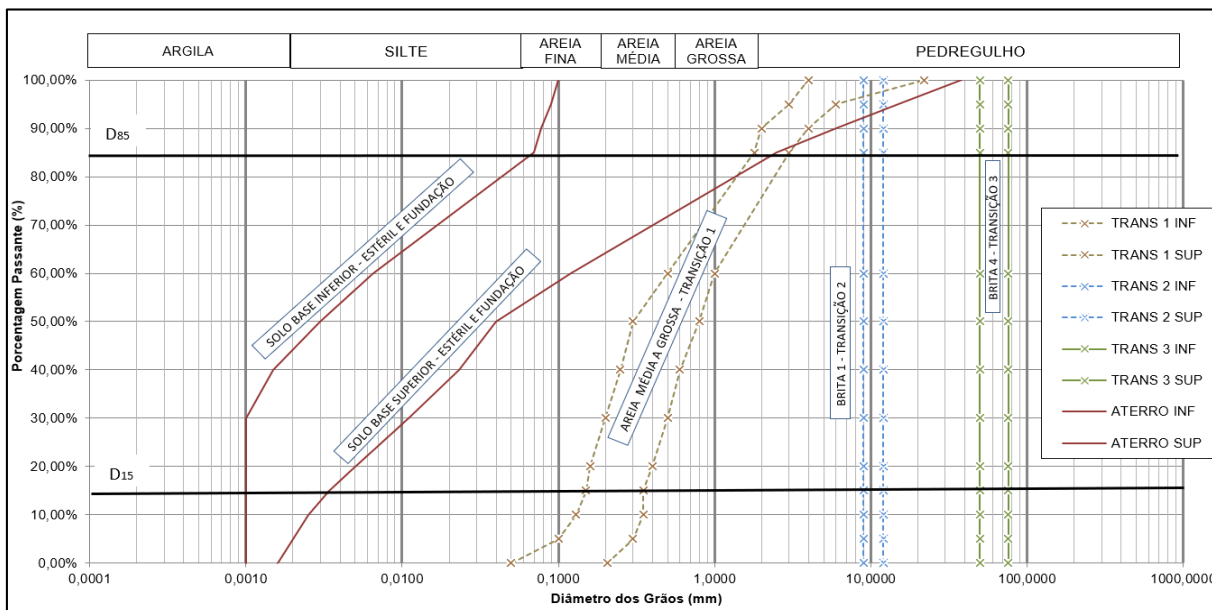


Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

4.7. Dimensionamento das transições

As faixas granulométricas que irão compor os drenos de fundo da Pilha de Estéril 01 foram dimensionadas a partir das características granulométricas dos materiais definidos como solo base. Na Figura 6.5 estão apresentadas as faixas granulométricas dos materiais de transição que atendem aos critérios apresentados.

Figura 4.3. Faixas granulométricas dos componentes do dreno de fundo



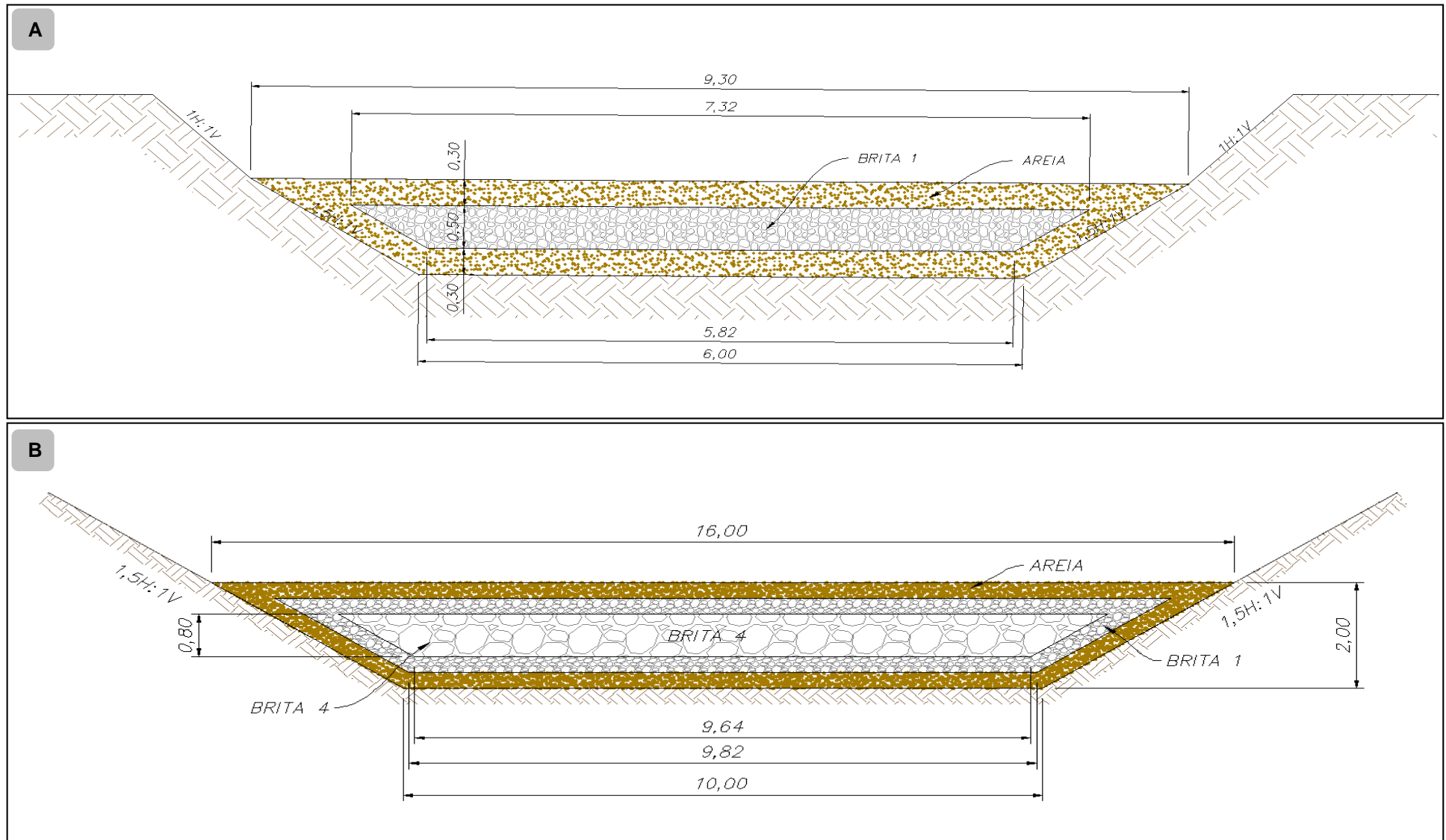
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

4.8. Concepção dos drenos de fundo

Conforme ilustrado na Figura 4.4, a concepção dos drenos após o dimensionamento apresentado, resultou em uma camada de 30 cm de areia média à grossa como camada de transição para o núcleo de brita 1 para os drenos oeste, leste e sudoeste, e para o dreno principal foram propostas 2 camadas de transição com 30 cm cada, compostas por areia média à grossa e brita 1 para satisfazer os critérios de transição com o núcleo de brita 4.

Vale destacar que na saída do sistema do dreno de fundo, é proposta a implantação de uma estrutura em enrocamento, cuja função é proteger o dreno quanto ao carreamento de materiais pelo fluxo de água.

Figura 4.4. Seções típicas A) dos drenos Oeste, Leste e Sudoeste e B) do dreno Principal



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

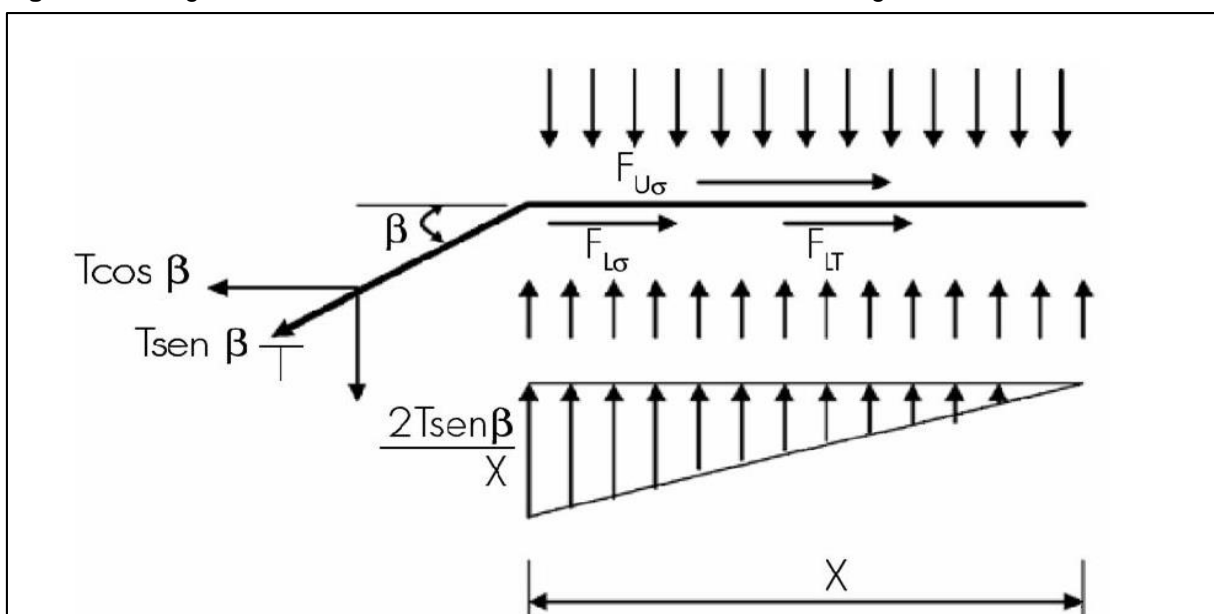
4.9. Sistema de impermeabilização

Na região do reservatório do Dique de contenção de sedimentos, o dreno de fundo deverá ser revestido com geomembrana PEAD texturizada, com o intuito de isolar a operação do reservatório do dique das vazões captadas pelo dreno de fundo e impedir a contaminação da água das nascentes. Devido sua baixíssima permeabilidade (cerca de 10^{-12} cm/s), as geomembranas em PEAD são normalmente aplicadas em sistemas de impermeabilização, sem que haja riscos de infiltração no solo.

As geomembranas texturizadas apresentam rugosidade que interagem de forma mais eficiente junto à superfície de contato com o solo, aumentando o atrito de interface e oferecendo resistência ao escorregamento de contato entre os materiais. Desta forma, a face texturizada deverá ser instalada no contato da geomembrana com a areia para melhorar as condições de execução da camada de 30 cm da transição e reduzir as possibilidades de escorregamento localizado do material na interface.

No geral, recomenda-se que a espessura mínima requerida para um revestimento em geomembrana utilizado para impermeabilização seja de 1,50 mm, contudo, existem várias equações empíricas para determinação da sua espessura. A metodologia para o dimensionamento se baseia no equilíbrio limite, tendo em conta a possível deformação da geomembrana por tensões mobilizadoras, como se demonstra na Figura 4.5.

Figura 4.5. Diagrama de tensões mobilizadoras em um revestimento em geomembrana

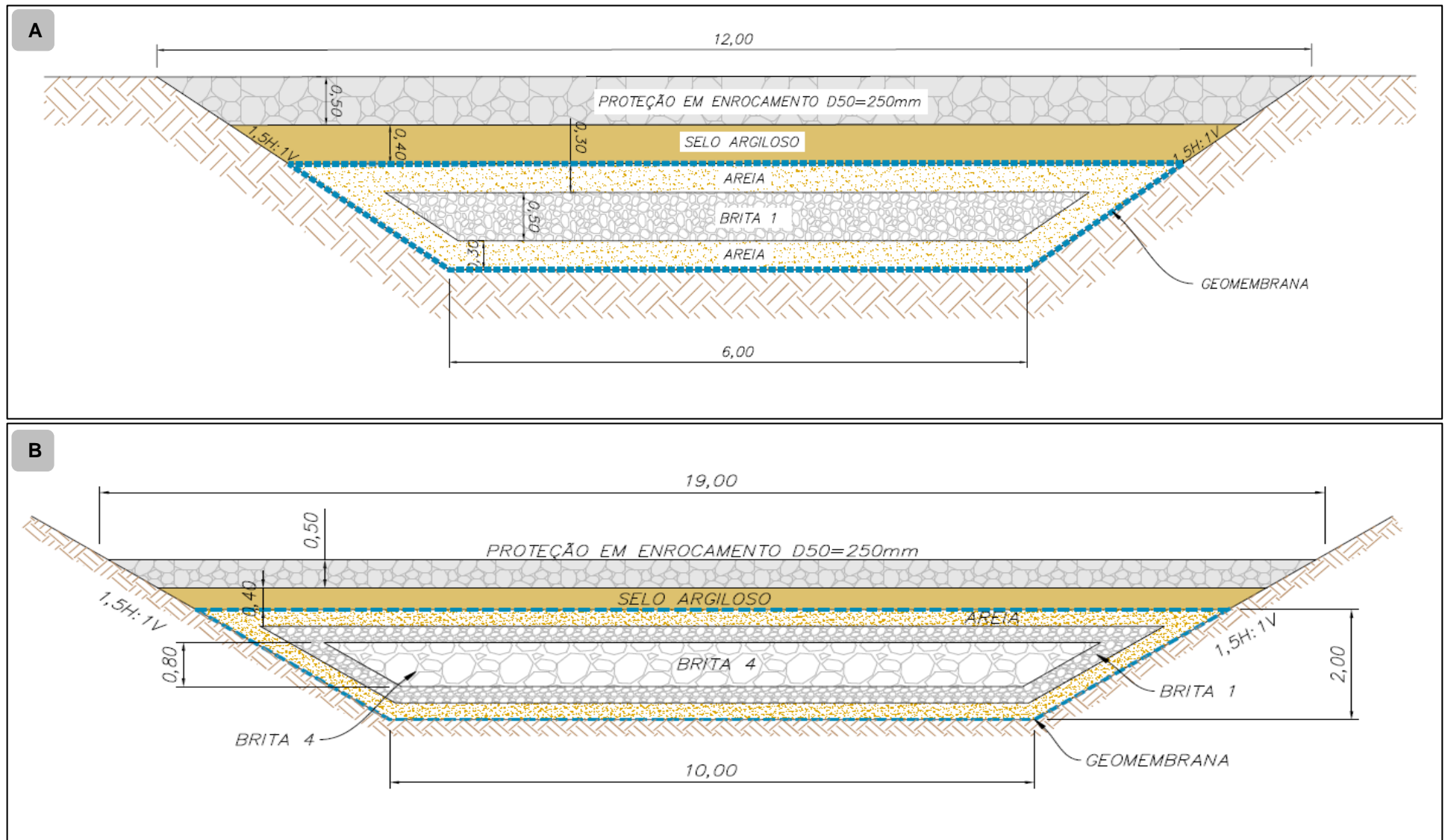


Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Visto que a geomembrana estará envelopada sobre o sistema de drenagem, ela não estará submetida a tensões mobilizadoras que necessitem de verificações quanto a sua resistência mecânica, desta forma, optou-se por adotar a espessura mínima requerida de 1,50 mm conforme apresentado no Manual de Critérios gerais para aplicação de geossintéticos elaborado pela MACCAFERRI, 1ª edição Julho/2009.

Para proteção das camadas do dreno de fundo contra possíveis danos gerados pelos trabalhos de limpeza do reservatório e de agentes químicos, deverá ser executada sob o reservatório do Dique uma camada de 50 cm de enrocamento e 40 cm de selo argiloso conforme apresentado na Figura 4.6.

Figura 4.6. Seções típicas dos drenos envelopados A) Oeste, Leste, Sudoeste e B) Principal



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

5. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

O presente item apresenta o estudo referente às análises de estabilidade das escavações para implantação do dreno de fundo e os de critérios de transição adotados para permitir a percolação da vazão necessário e impedir o carreamento das partículas provocando a obstrução do sistema.

Para as análises de estabilidade foram considerados os critérios estabelecidos pela norma NBR 11.682:2009 referente ao controle de estabilidade de taludes em solo, rocha ou mistos.

Para atendimento a referida norma, deve-se inicialmente classificar o projeto a partir da possibilidade de perdas humanas (Quadro 5.1) e danos materiais e ambientais (Quadro 5.2), relacionando ambos com o Quadro 5.3 para obter o grau de segurança esperado.

Quadro 5.1. Grau de Segurança esperado – Vidas humanas

GRAU DE SEGURANÇA	CRITÉRIOS
Alto	Áreas e edificações com movimentação e permanência de pessoas
	Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas
	Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas
	Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b), adaptado de NBR 11682:2009.

Quadro 5.2. Grau de Segurança esperado – Perdas materiais e ambientais

GRAU DE SEGURANÇA	CRITÉRIOS
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais.
	Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos.
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado.

GRAU DE SEGURANÇA	CRITÉRIOS
Baixo	Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderado.
	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido.
	Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzido.

Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b), adaptado de NBR 11682:2009.

Quadro 5.3. Fatores de Segurança

NÍVEL DE SEGURANÇA CONTRA DANOS MATERIAIS E AMBIENTAIS	NÍVEL DE SEGURANÇA CONTRA DANOS A VIDAS HUMANAS		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

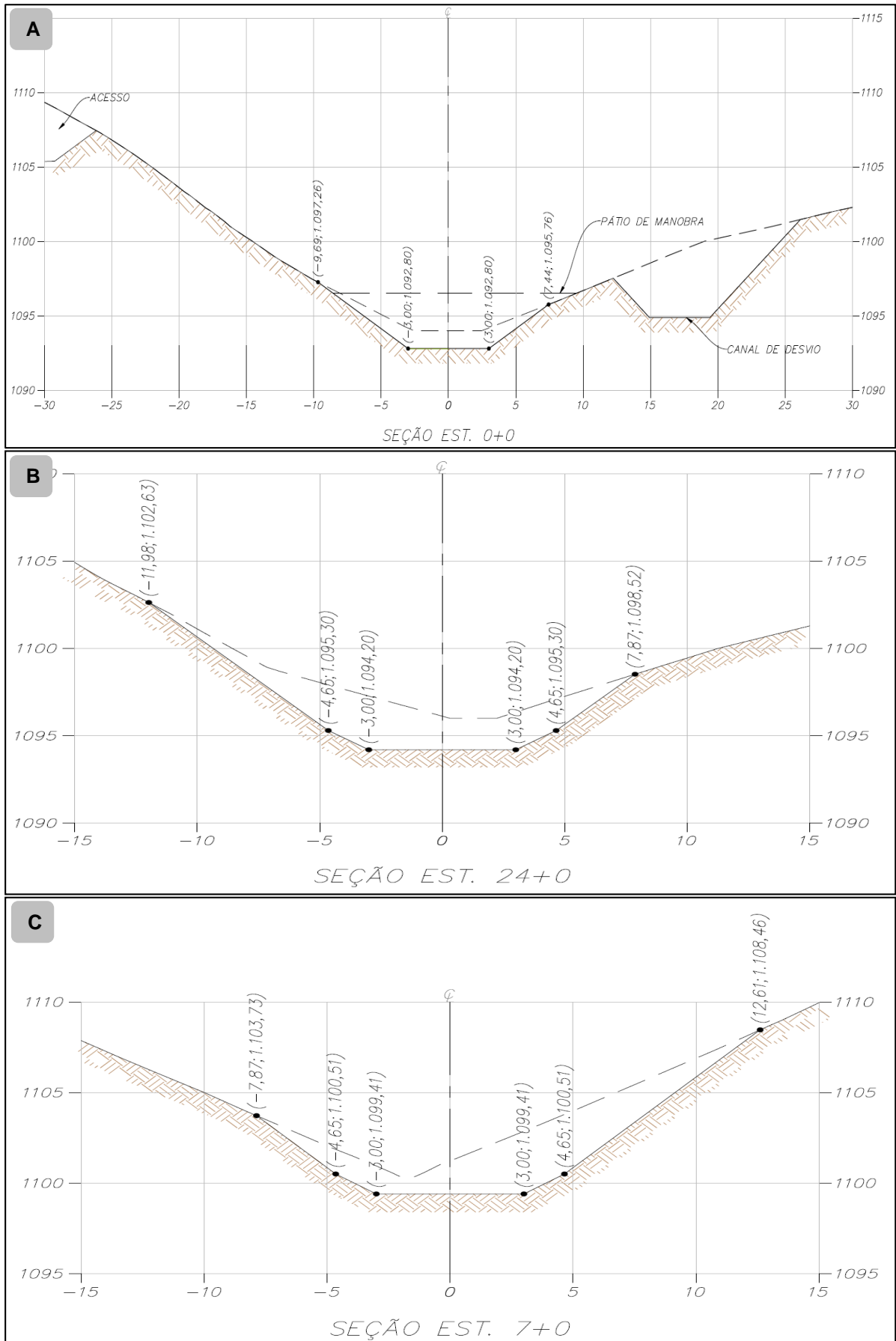
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b), adaptado de NBR 11682:2009.

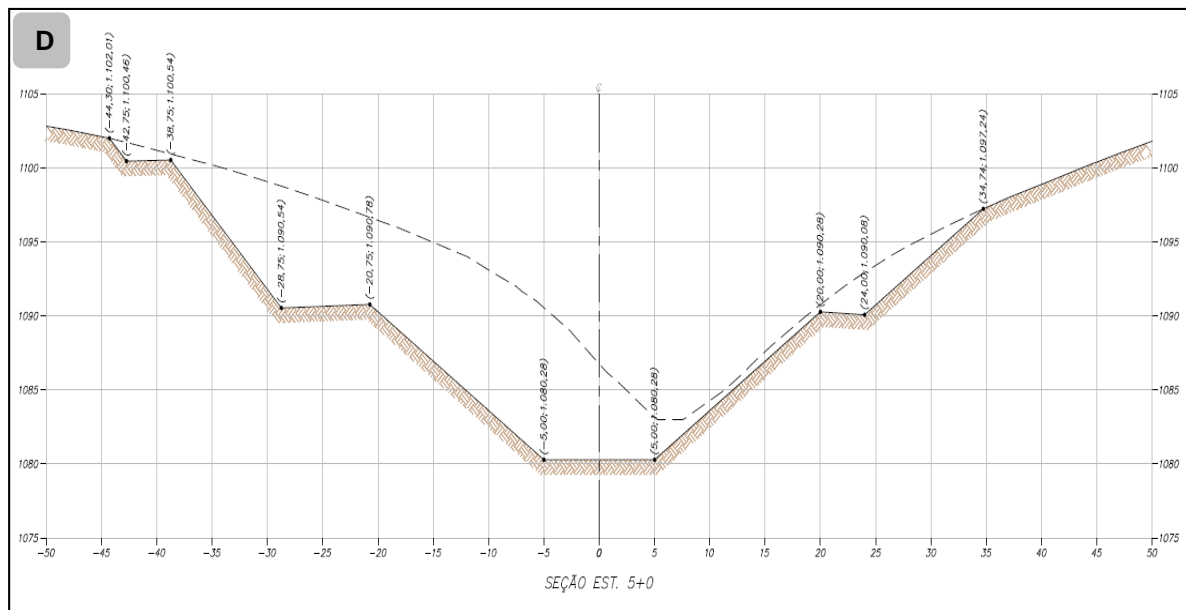
A partir dos resultados de classificação obtidos, foi possível verificar que o grau de segurança em questão é baixo, resultando em um F.S. mín = 1,2. No entanto, o projeto das escavações para implantação do dreno de fundo da expansão da Pilha de Estéril 01 irá considerar o F.S.mín igual a 1,3, compatível com o FS sugerido pelas melhores práticas de engenharia para taludes provisórios, sejam de aterro e/ou escavação.

5.1. Seções geológico-geotécnicas

As análises dos estudos geotécnicos foram conduzidas nas seções transversais de maior altura correspondentes a cada um dos drenos. Para o dreno sudoeste foi considerada a seção da estaca 1+0, para o dreno oeste, a seção da estaca 24+0, seção da estaca 7+0 para o dreno leste e estaca 5+0 para o dreno principal, conforme apresenta a Figura 5.1 a seguir.

Figura 5.1. A) Seção da est. 1+0 – Dreno Sudoeste; B) Seção da est. 24+0 – Dreno Oeste; C) Seção da est. 7+0 – Dreno Leste; D) Seção da est. 5+0 – Dreno Principal





5.2. Parâmetros geotécnicos

Como não foi possível a realização de investigações na região dos talwegues na área da pilha, impossibilitando, consequentemente, a caracterização da fundação no local, foi acordado entre a CBMM e a DF+ o estabelecimento de algumas premissas geométricas de escavação, conforme abordado no item 4.1, de modo a remover todo material aluvionar mole eventualmente presente. Antes da remoção deste material, a DF+ optou por considerar todo material da fundação como sendo solo coluvionar, de forma conservadora, para as análises de estabilidade das escavações do dreno de fundo da expansão da Pilha de Estéril 01 .

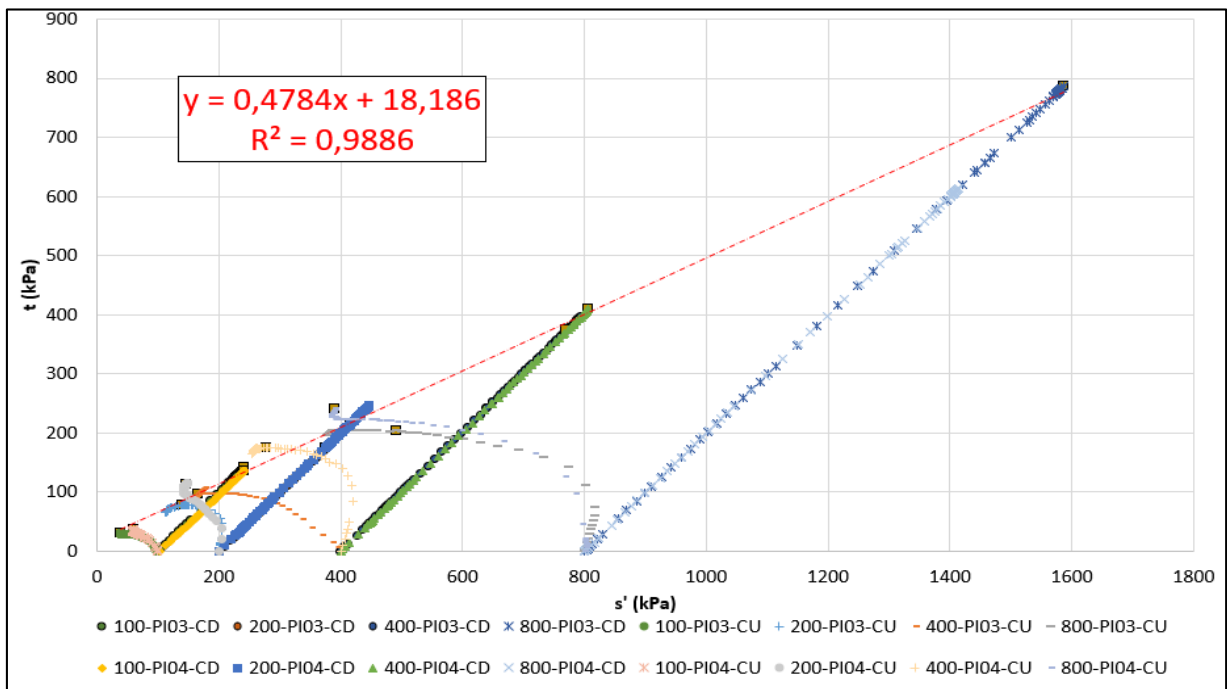
Os parâmetros geotécnicos do colúvio foram definidos a partir dos resultados dos ensaios de compressão triaxial realizados pelo laboratório DSoares, conforme especificação técnica.

Os ensaios triaxiais foram realizados considerando quatro níveis de tensões confinantes, sendo de 100 kPa, 200 kPa 400 kPa e 800 kPa. Para melhor análise dos dados, foram compilados os resultados dos ensaios triaxiais CID e CIU das amostras PI-03 e PI-04 em um único diagrama $s' \times t$, onde fosse possível ser gerada uma linha de tendência que represente o comportamento geotécnico global de cisalhamento deste material, conforme apresentado nas Figura 5.2 e Figura 5.3, onde:

$$s' = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad \text{Equação 5.1}$$

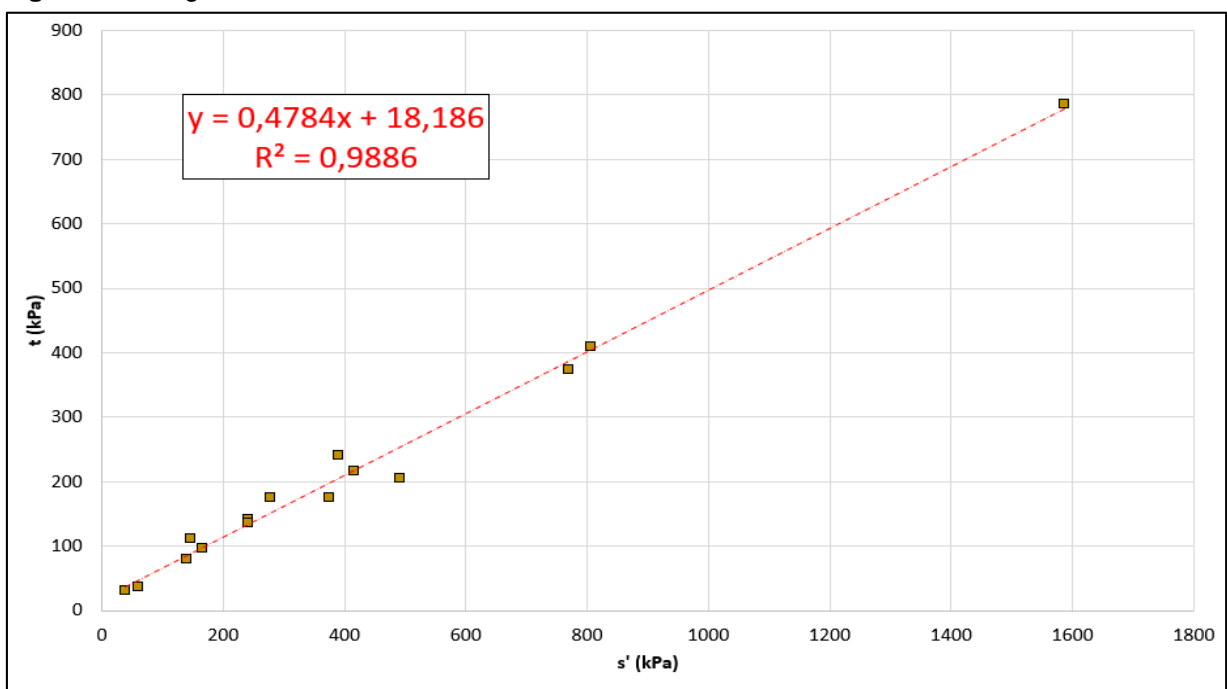
$$t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \text{Equação 5.2}$$

Figura 5.2. Diagrama s'x t – Amostras PI-03 e PI-04



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

Figura 5.3. Diagrama s'x t – Amostras PI-03 e PI-04 - Linha de tendência



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

Considerando as informações supracitadas e linha de tendência apresentada, serão adotados para o material coluvionar da região de expansão da Pilha de Estéril 01, ângulo de atrito efetivo de 29° e coesão efetiva de 21 kPa. O peso específico saturado do material foi estabelecido através dos resultados de caracterização do material em 17 kN/m³.

5.3. Análises de estabilidade

As análises de estabilidade visam determinar os fatores de segurança mínimos requeridos pelas normas brasileiras aplicáveis, considerando-se as características geológico-geotécnicas dos materiais e geometria da estrutura. As análises foram realizadas com o intuito de validar a estabilidade das escavações do dreno de fundo da Pilha de Estéril 01 em concordância com o preconizado na norma técnica NBR 11.682:2009 e nas boas práticas de engenharia geotécnica.

No projeto utilizou-se o programa computacional Slide 2018, da empresa Canadense Rocscience. O Slide é um programa de análises bidimensionais de estabilidade de taludes que calcula o fator de segurança para rupturas circulares e não circulares através da teoria de Equilíbrio Limite. Para a busca dos fatores de segurança mínimos foi utilizado o método de Morgenstern-Price, adotando-se unicamente o critério de resistência de Mohr-Coulomb e ruptura circular.

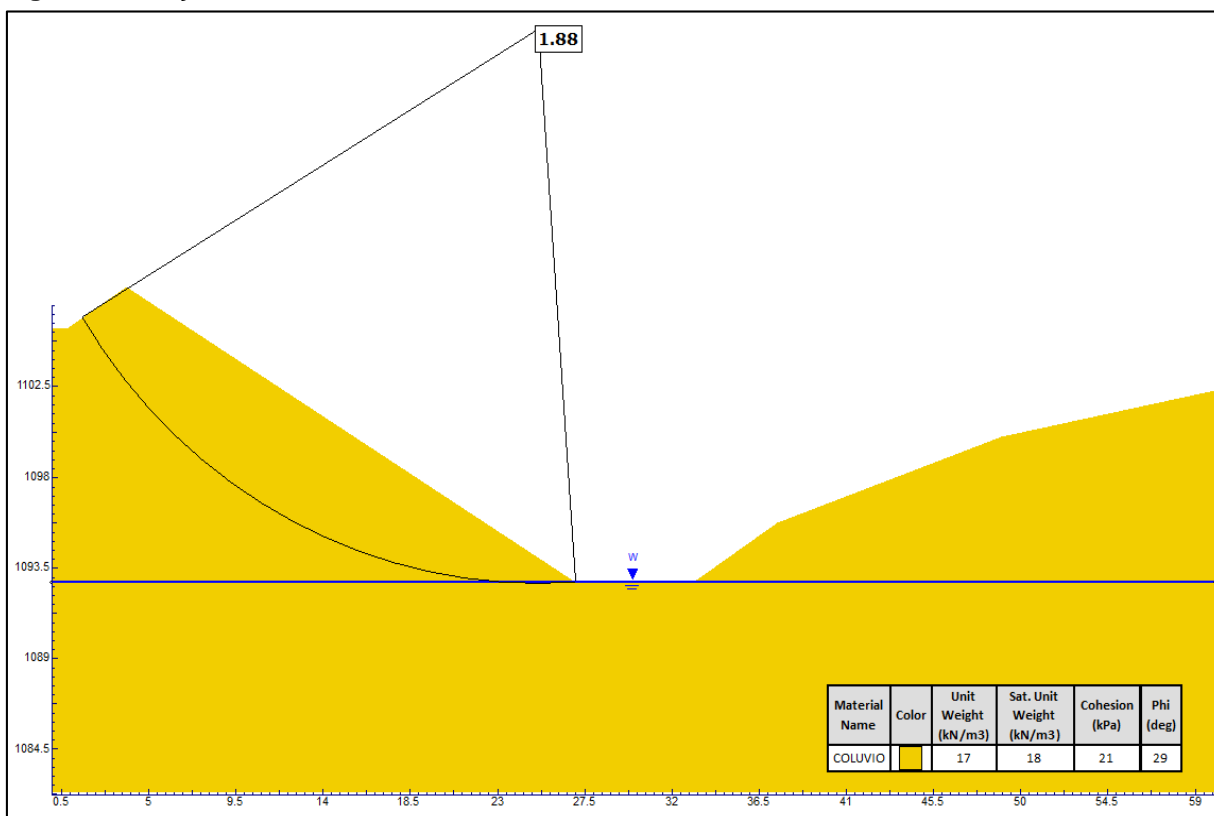
Os resultados das análises são apresentados no Quadro 5.4 e ilustrados da Figura 5.4 a Figura 5.11.

Quadro 5.4. Resumo das análises de estabilidade para escavação do dreno de fundo

DRENO	SEÇÃO	TALUDE	F.S. OBTIDO
Sudoeste	Estaca 1+0	Oeste	1,88
		Leste	2,87
Oeste	Estaca 24+0	Oeste	1,73
		Leste	2,53
Leste	Estaca 7+0	Oeste	2,18
		Leste	1,74
Principal	Estaca 5+0	Oeste	1,73
		Leste	1,89

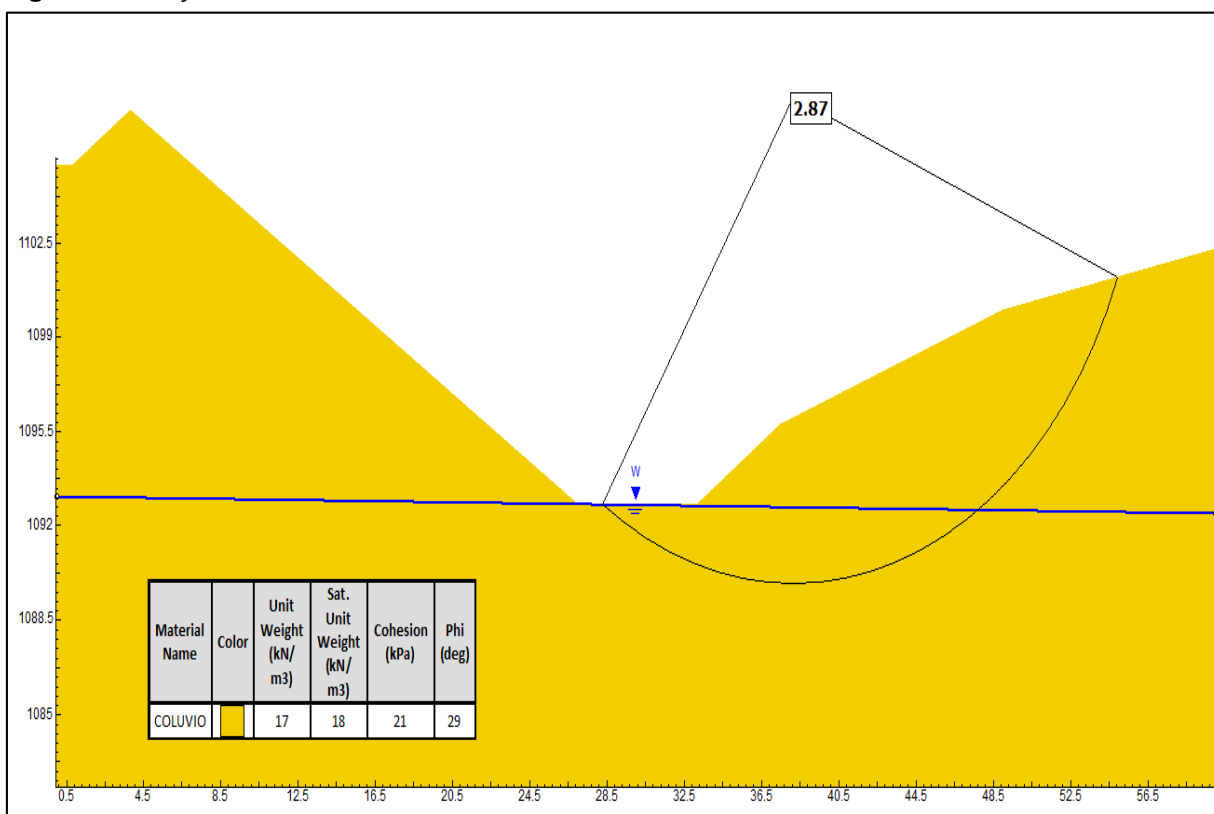
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 5.4. Seção Dreno Sudoeste – Estaca 1+0 - Talude Oeste



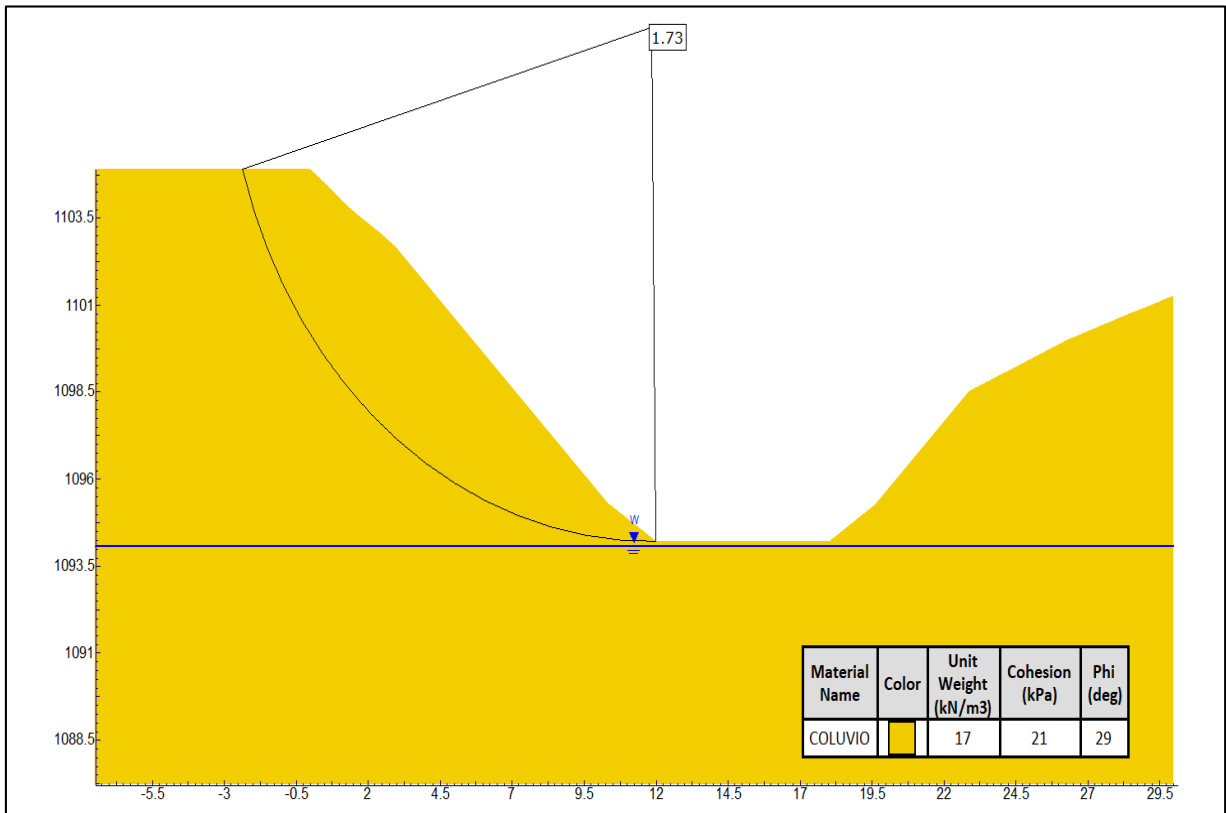
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 5.5. Seção Dreno Sudoeste – Estaca 1+0 - Talude Leste



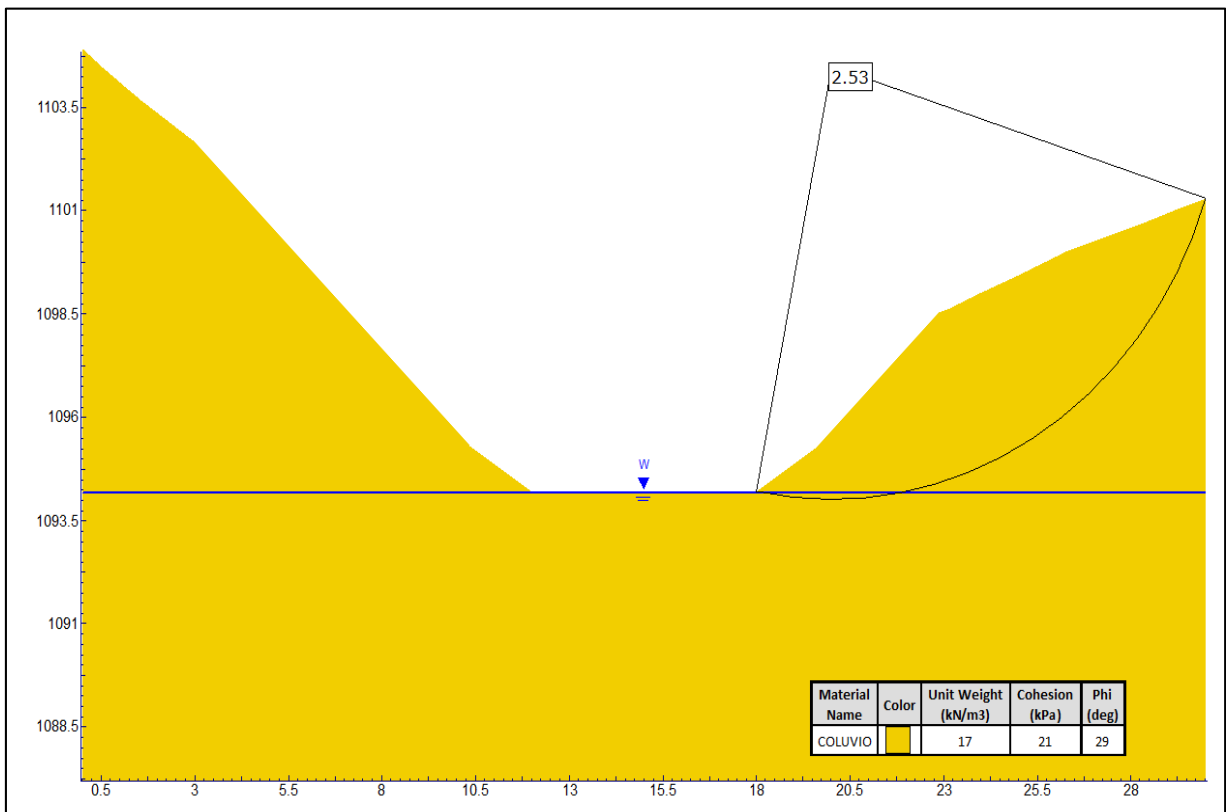
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 5.6. Seção Dreno Oeste – Estaca 24+0 - Talude Oeste



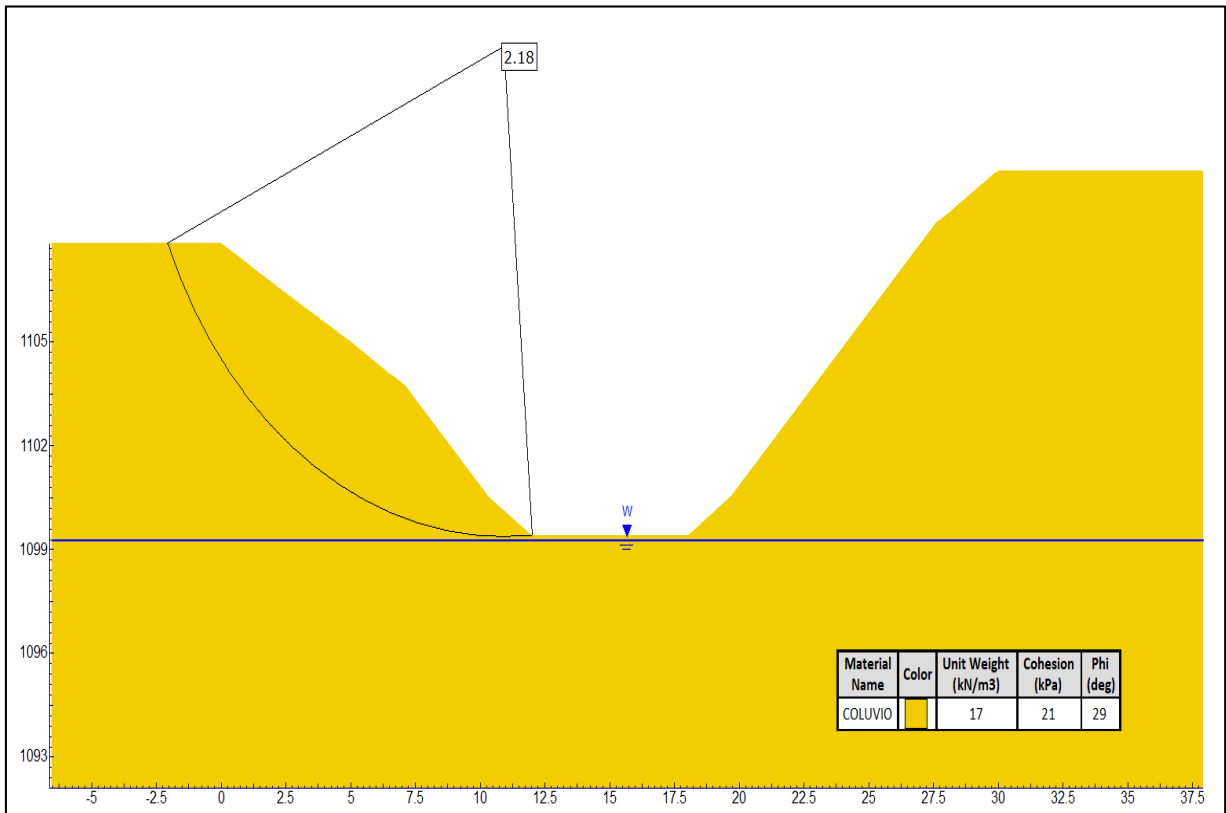
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 5.7. Seção Dreno Oeste – Estaca 24+0 - Talude Leste



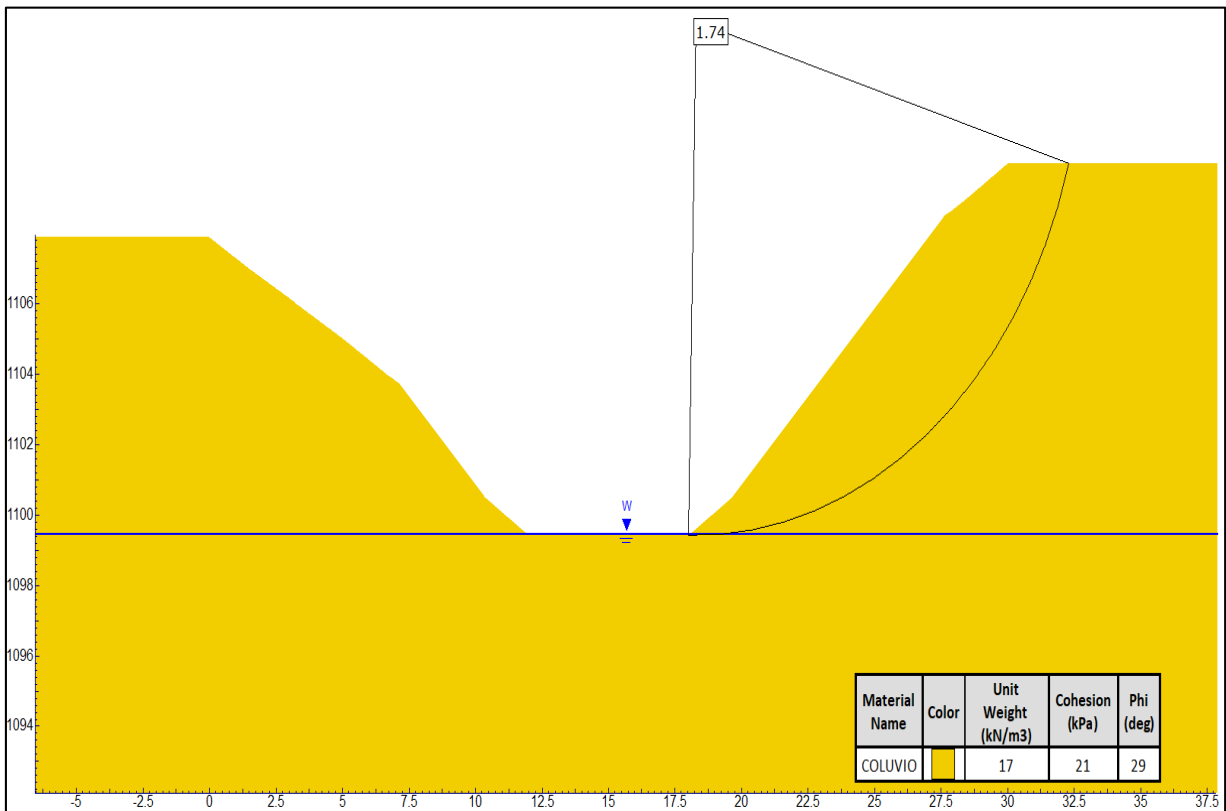
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 5.8. Seção Dreno Leste – Estaca 7+0 – Talude Oeste



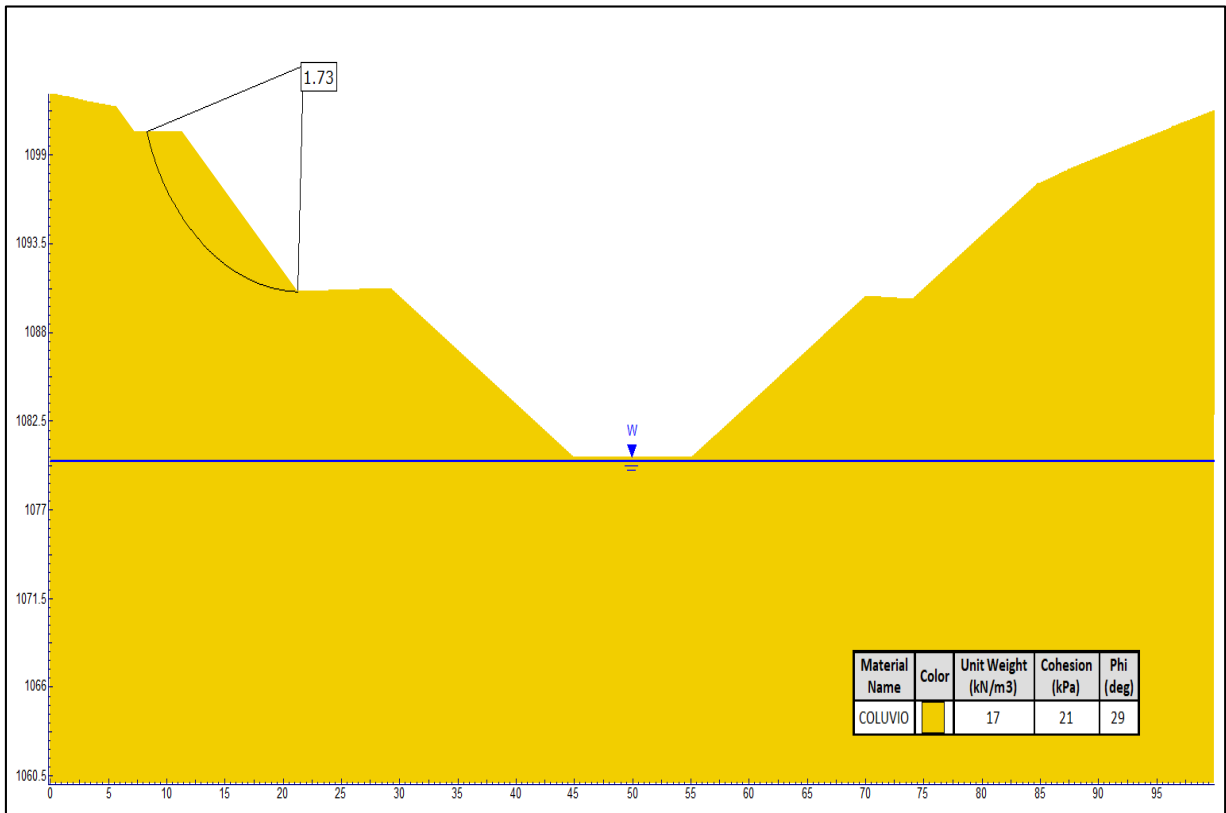
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 5.9. Seção Dreno Leste – Estaca 7+0 – Talude Leste



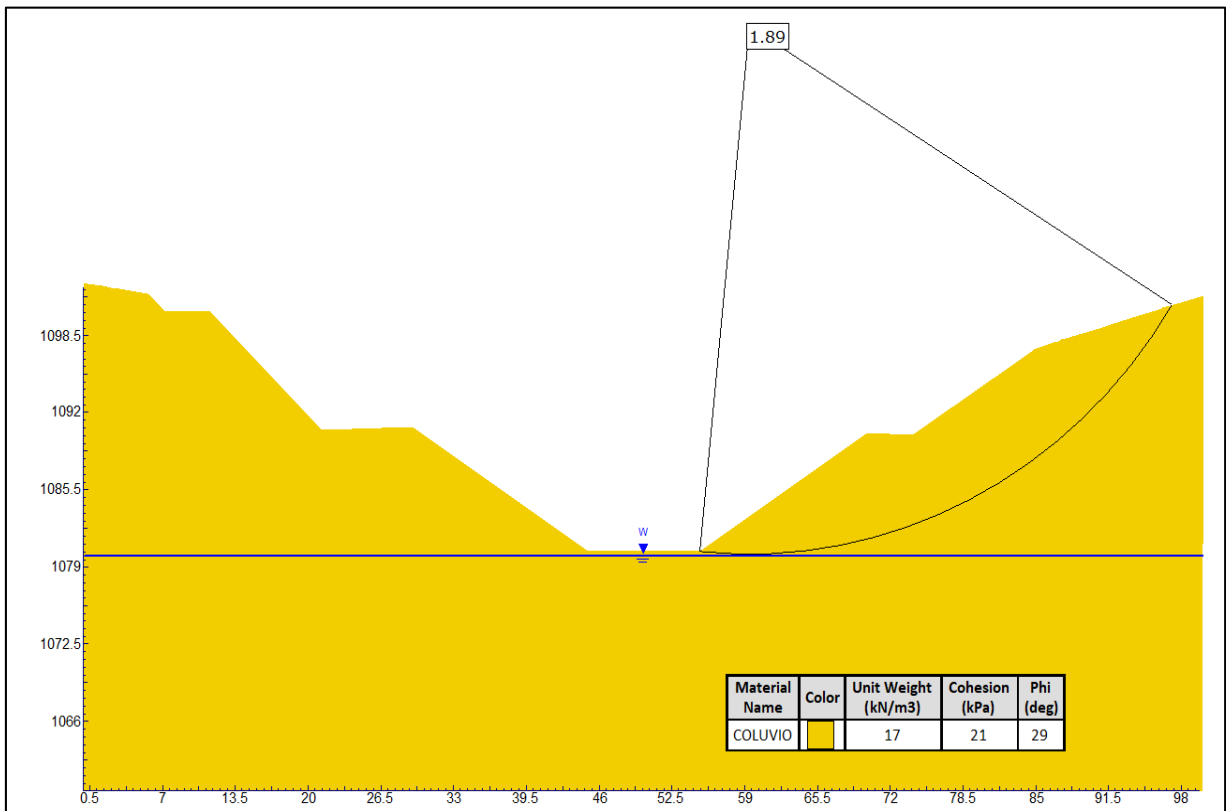
Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021b).

Figura 5.10. Seção Dreno Principal – Estaca 5+0 – Talude Oeste



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

Figura 5.11. Seção Dreno Principal – Estaca 5+0 – Talude Leste



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

A partir dos resultados de F.S. obtidos, pode-se verificar que todas as análises de estabilidade atenderam ao F.S. mínimo previsto para o grau de segurança baixo (de acordo com o Quadro 5.3), conforme classificação estabelecida pela norma técnica NBR 11.682:2009, apresentada anteriormente, bem como ao critério definido para este projeto (F.S. > 1,3).

6. ESTUDOS FISIAGRÁFICOS

A presente análise, elaborada pelo profissional Rafael Mendes Rosa no Volume II do Estudo de Impacto Ambiental – EIA da Expansão da Pilha de Estéril 01 (EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL, 2022), foi adaptada para esse estudo com o intuito de identificar e descrever possíveis perdas e impactos nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do córrego da Cava, onde haverá parte da referida intervenção. Para isso, foram avaliados o relatório com o conteúdo denominado Projeto Executivo: Expansão Da Pilha de Estéril 01 – Dique De Sedimentos (DF+ ENGENHARIA GEOTÉCNICA E RECURSOS HÍDRICOS, 2021c), a série histórica de vazões com falhas de 2006 a 2019 levantada a partir da estação fluviométrica VT-07, vazões aferidas em campo pela consultoria Ekos Planejamento Ambiental no ano de 2022 e dados secundários que indicam aspectos relacionados aos recursos hídricos da região e do local.

A área alvo da análise de perdas e impactos nos recursos hídricos corresponde à bacia hidrográfica do córrego da Cava, porém é importante ressaltar que a Pilha de Estéril 01 se situa em partes de duas bacias hidrográficas, cujas drenagens são afluentes da margem esquerda do córrego Bocaina. No entanto, essa segunda bacia localiza-se sob as alterações da paisagem ocasionadas pelas ocupações do empreendimento (pilhas de estéril e resíduos classes I e II e barragem de rejeitos).

De acordo com a localização da Pilha de Estéril 01, observa-se que a bacia do córrego da Cava será ocupada em 0,92 km² (ou cerca de 48% de sua área total) pela ampliação da estrutura de deposição de estéril, intervindo em 03 (três) cursos d'água, de forma total (contribuintes leste e oeste) e parcial (contribuinte sudoeste). Salienta-se que com as manifestações antrópicas já existentes (células de estéril e resíduos classes I e II e rodovia), a referida bacia já é ocupada em aproximadamente 0,60 km² (30% de sua área total).

6.1. Aspectos morfométricos e hidrológicos das bacias dos córregos Bocaina e Cava

Para fins introdutórios sobre as perdas e impactos nos recursos hídricos, é importante recorrer às análises morfométricas da(s) bacia(s) hidrográfica(s), que são abordados em diagnósticos

geomorfológicos para estudos de erosão e de recursos hídricos voltados ao comportamento hidrológico (VILLELA; MATTOS, 1975). Nesse sentido, os resultados de alguns parâmetros morfométricos podem fornecer pistas importantes para a análise aqui desenvolvida.

Foram estabelecidos 13 (treze) parâmetros morfométricos que podem ser obtidos por meio de cálculo em *software* SIG, como áreas, perímetros, comprimentos etc., bem como a partir de fórmulas estabelecidas por importantes autores que dissertaram sobre a temática. Os 13 (treze) parâmetros morfométricos correspondem à área, ao perímetro, ao comprimento axial, ao padrão de drenagem, ao comprimento do rio principal, à ordem do curso d'água principal, a quantidade de canais de 1ª ordem, ao comprimento dos canais de drenagem, ao fator forma, ao índice de circularidade, ao coeficiente de compacidade, à densidade de rios e, por fim, à densidade de drenagem. O Quadro 6.1 apresenta os parâmetros morfométricos que necessitam de fórmulas específicas para sua obtenção, juntamente com as formas de interpretação dos resultados.

Quadro 6.1. Fórmulas específicas para obtenção dos parâmetros morfométricos

PARÂMETROS	FÓRMULAS E FORMAS DE INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS		
Fator forma (VILLELA; MATTOS, 1975)	$Kf = \frac{A}{La^2}$	Onde: Kf = Fator forma A = Área da bacia La = Comprimento axial	Tendência a enchentes: < 0,50 – não sujeito a enchentes 0,50 a 0,75 – tendência mediana 0,75 a 1,00 – sujeito a enchentes
Índice de circularidade (MÜLLER, 1953)	$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2}$	Onde: IC = Índice de circularidade A = Área da bacia P = Perímetro da bacia	Tendência a inundações: < 0,51 – favorece o escoamento > 0,51 – favorece a inundação
Coeficiente de compacidade (VILLELA; MATTOS, 1975)	$Kc = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}}$	Onde: Kc = Coeficiente de compacidade P = Perímetro da bacia A = Área da bacia	Propensão a enchentes: 1,0 a 1,25 – alta 1,25 a 1,50 – média > 1,50 – baixa
Densidade de rios (HORTON, 1945)	$Dr = \frac{N}{A}$	Onde: Dr = Densidade de rios N = N° de canais de 1ª ordem A = Área da bacia	Tendência a formação de canais: < 0,5 canais/km² – baixa 0,5 a 1,0 canais/ km² – média 1,0 a 1,5 canais/km² – alta > 1,5 canais/km² – muito alta
Densidade de drenagem (HORTON, 1945)	$Dd = \frac{L}{A}$	Onde: Dd = Densidade de drenagem L = Comprimentos dos canais A = Área da bacia	Densidade de drenagem: < 5,00 km/km² – baixa 5,00 – 13,0 km/km² – média > 13,00 km/km² – alta

Fonte: Ekos Planejamento Ambiental (2022).

A partir do exposto, a Tabela 6.1 contempla os resultados dos parâmetros morfométricos das bacias dos córregos Bocaina e da Cava.

Tabela 6.1. Resultados dos parâmetros morfométricos

PARÂMETROS	BACIA DO CÓRREGO BOCAINA	BACIA DO CÓRREGO DA CAVA
Área	35,07 km ²	1,97 km ²

PARÂMETROS	BACIA DO CÓRREGO BOCAINA	BACIA DO CÓRREGO DA CAVA
Perímetro	32,80 km ²	6,48 km ²
Comprimento axial (VILLELA; MATTOS, 1975)	9,27 km ²	2,30 km ²
Padrão de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1974)	Dendrítico	Dendrítico
Comprimento do canal principal	12,85 km	2,21 km
Ordem do curso d'água principal (STRAHLER, 1952)	3ª ordem	2ª ordem
Quantidade de canais de 1ª ordem (HORTON, 1945)	50	3
Comprimento dos canais de drenagem (HORTON, 1945)	57,47 km ²	3,06 km ²
Fator forma (VILLELA; MATTOS, 1975)	0,40 (não sujeito a enchentes)	0,37 (não sujeito a enchentes)
Índice de circularidade (MÜLLER, 1953)	0,40 (favorece o escoamento)	0,58 (favorece a inundação)
Coefficiente de compacidade (VILLELA; MATTOS, 1975)	1,55 (propensão baixa a enchentes)	1,29 (propensão média a enchentes)
Densidade de rios (HORTON, 1945)	1,42 canais/km ² (alta)	1,52 canais/km ² (muito alta)
Densidade de drenagem (HORTON, 1945)	1,64 km/km ² (baixa)	1,55 km/km ² (baixa)

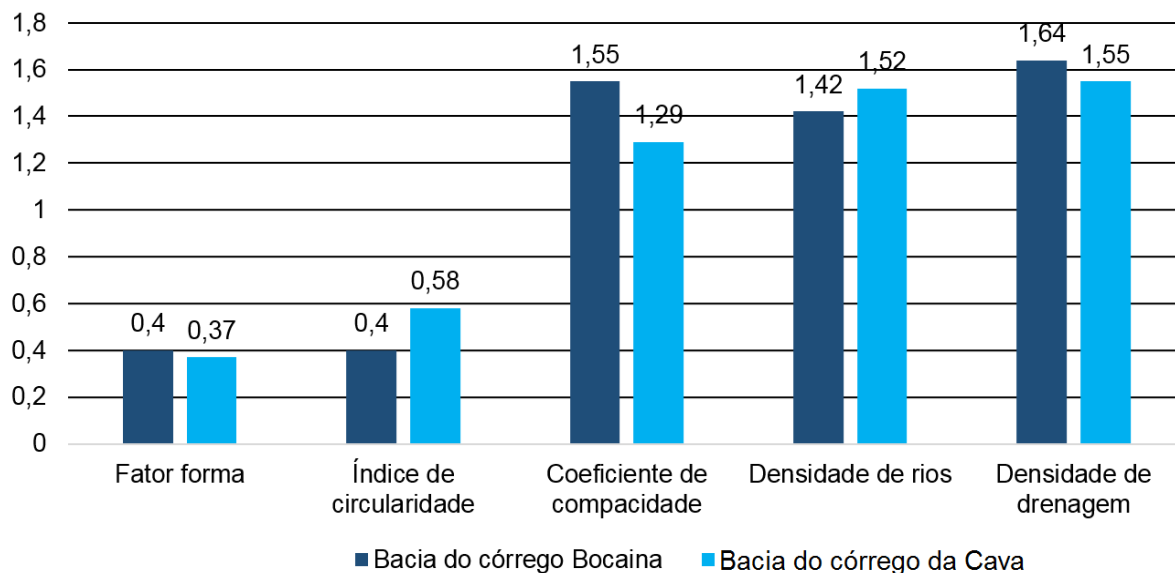
Fonte: Adaptado de Ekos Planejamento Ambiental (2022).

Considerando os resultados acima, observa-se que a bacia do córrego Bocaina não apresenta uma tendência a enchentes e inundações, condição essa que também ocorre, de modo localizado, na bacia do córrego da Cava. Tal fato indica que há uma propensão ao escoamento via canais de drenagem em detrimento a um relativo acúmulo nas bacias. O favorecimento à inundação indicado pelo índice de circularidade para a bacia do córrego da Cava é baixo. Ademais, as densidades de rios e de drenagem da referida bacia também apresentaram valores compatíveis com o resultado para a bacia do córrego Bocaina. Observa-se que as intervenções previstas para as águas superficiais da área diretamente afetada são bastante pontuais se comparado à toda extensão da bacia do córrego Bocaina. A Figura 6.1 apresenta um comparativo dos principais parâmetros morfométricos, sendo identificado que não há uma grande discrepância entre os mesmos.

Diante do exposto, percebe-se, em um primeiro momento, que a bacia do córrego da Cava será impactada em nascentes e drenagens de relativa baixa extensão (comprimento). No entanto, como a bacia apresenta uma densidade de rios muito alta, a relação de “perda” e “impacto” pela área de implantação da pilha em canais de 1ª ordem por área é relativamente significativa, embora seja bastante localizada, pois a pilha ocupa uma área de apenas 0,92

km² na supracitada bacia. Outras variáveis serão abordadas no item 6.2 a seguir para complementar a presente análise.

Figura 6.1. Gráfico comparativo dos principais parâmetros morfométricos



Fonte: Adaptado de Ekos Planejamento Ambiental (2022).

6.2. Caracterização das vazões da bacia hidrográfica do córrego da Cava em pontos e períodos distintos

A continuidade da análise de perdas e impactos nos recursos hídricos contempla as vazões obtidas por uma série histórica referente ao monitoramento de um vertedouro por parte do empreendimento (série histórica VT-07), além de aferições pontuais em abril de 2022 realizada em 05 (cinco) pontos nos cursos d’água da bacia hidrográfica em análise. Destaca-se que apenas o VT-07 e o ponto 5 se encontram próximo ao exutório do córrego da Cava e os demais pontos (1, 2, 3 e 4) situam-se no interior da área de intervenção, como bem demonstra a Figura 6.2. Para mais, a Tabela 6.2 contempla as coordenadas geográficas dos pontos de aferição de vazão.

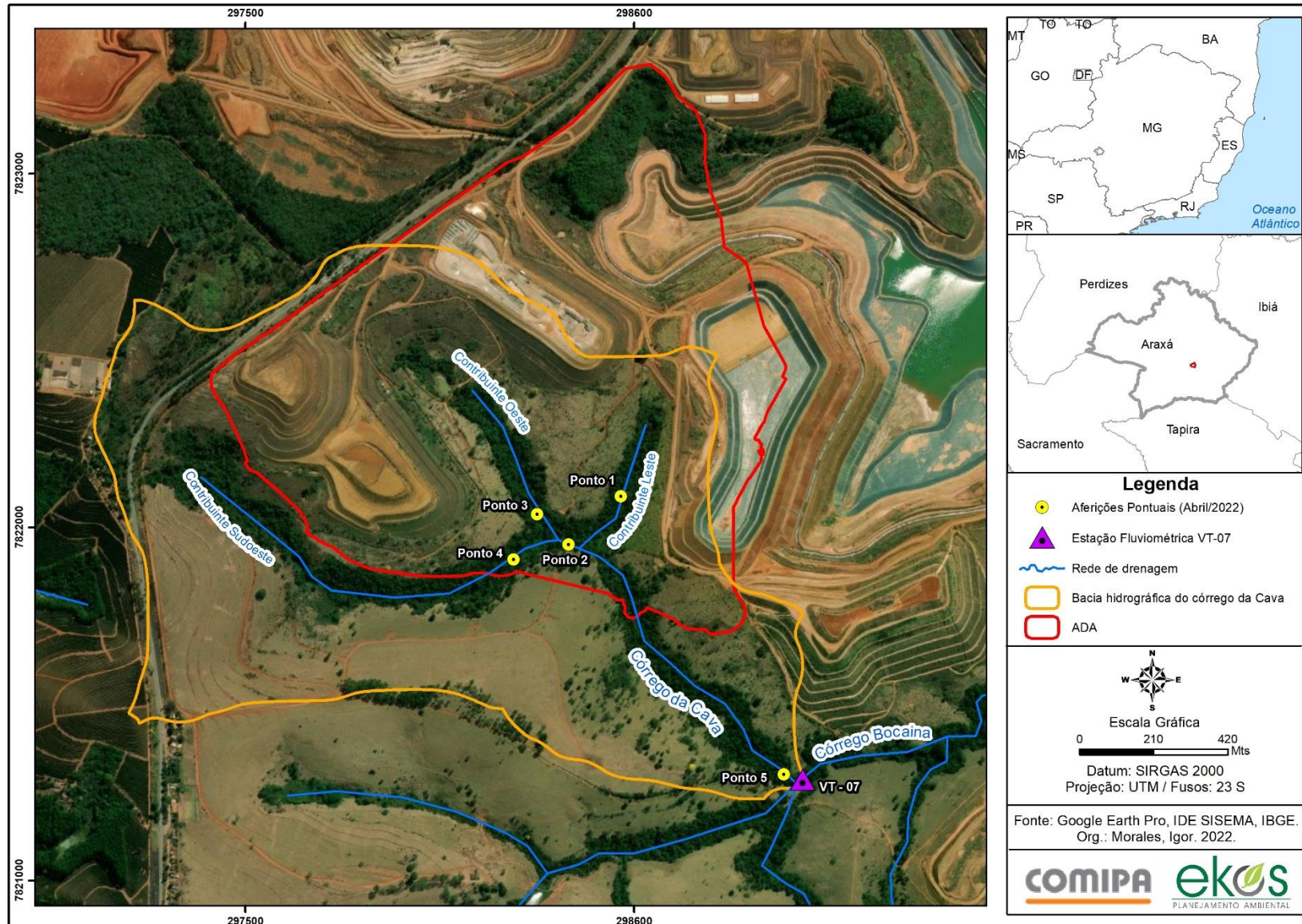
Tabela 6.2. Coordenadas geográficas dos pontos de aferição de vazão

PONTOS	CURSO D’ÁGUA	COORDENADAS UTM (FUSO 23K)	
		LONGITUDE (E)	LATITUDE (S)
Ponto 1	Contribuinte Leste	7822087,00 m	298563,00 m
Ponto 2	Confluência dos contribuintes Oeste e Sudoeste	7821981,00 m	298492,00 m
Ponto 3	Contribuinte Oeste	7822036,00 m	298327,00 m
Ponto 4	Contribuinte Sudoeste	7821909,00 m	298260,00 m

PONTOS	CURSO D'ÁGUA	COORDENADAS UTM (FUSO 23K)	
		LONGITUDE (E)	LATITUDE (S)
Ponto 5	Córrego da Cava	7821279,00 m	299056,00 m
VT-07	Córrego da Cava	7821275,00 m	299060,00 m

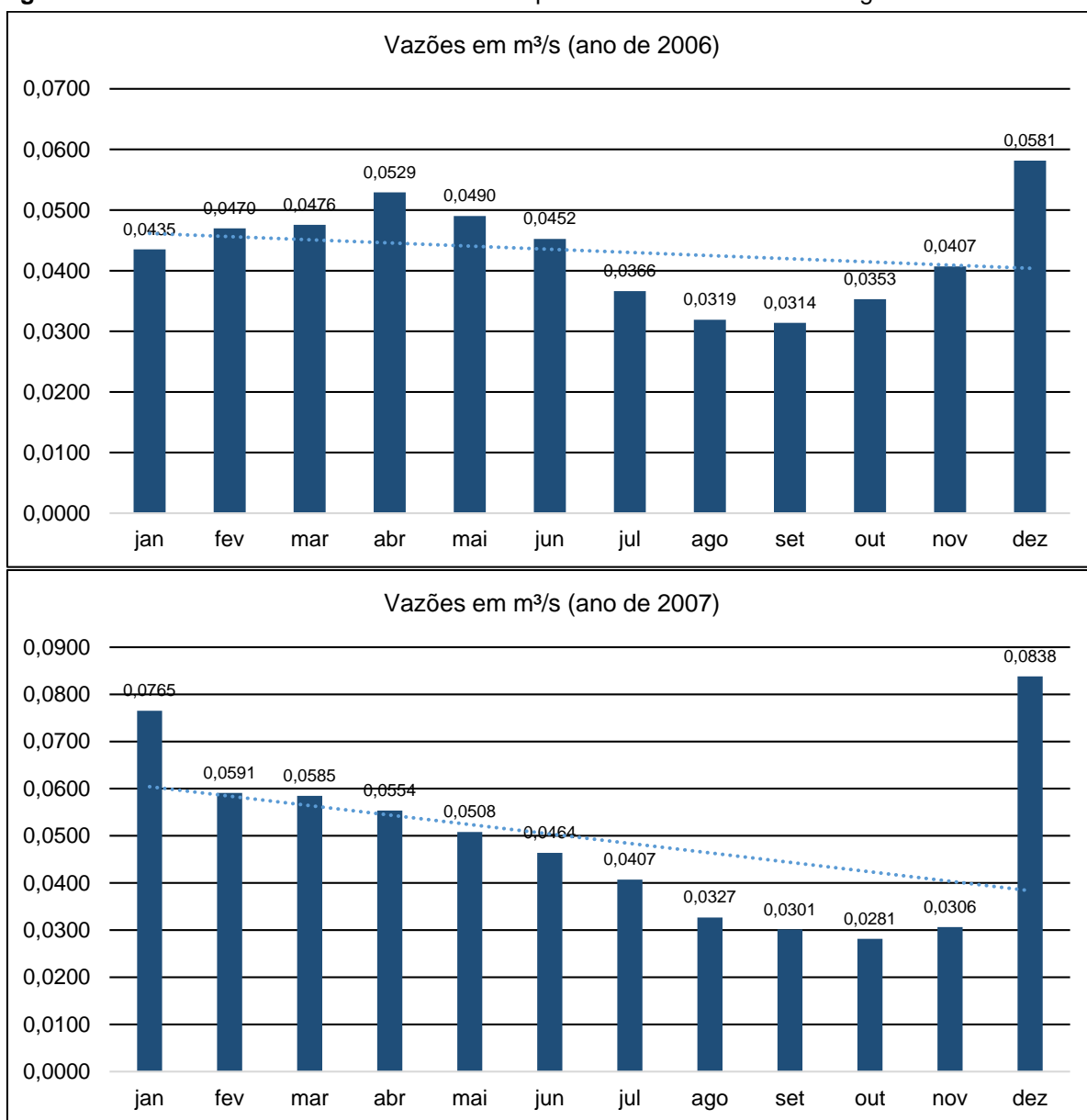
Fonte: Adaptado de Ekos Planejamento Ambiental (2022).

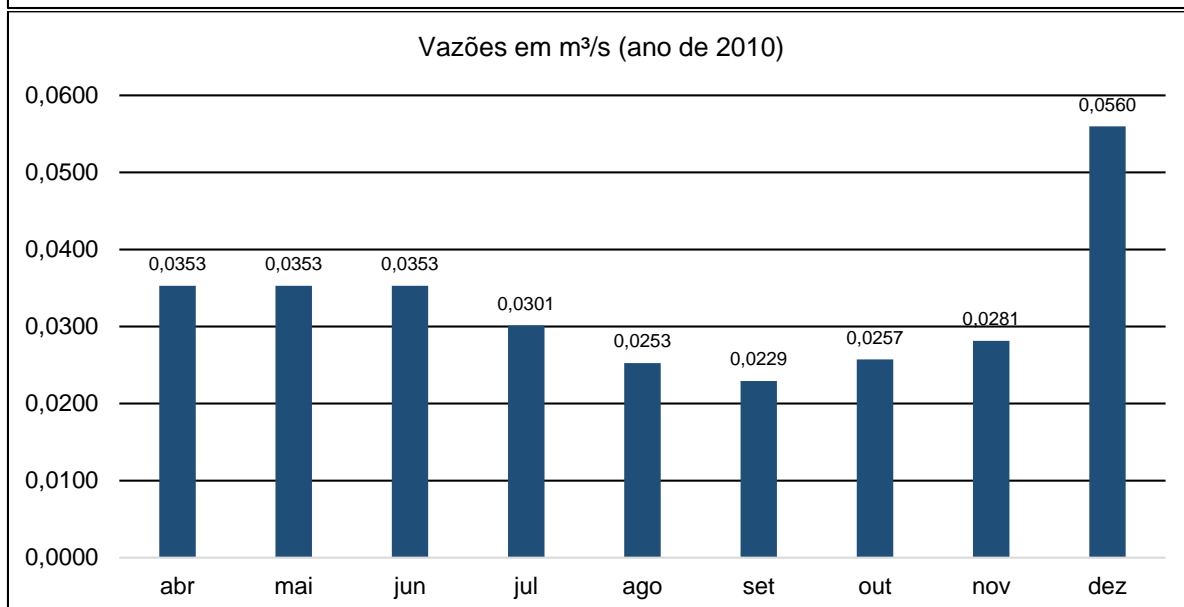
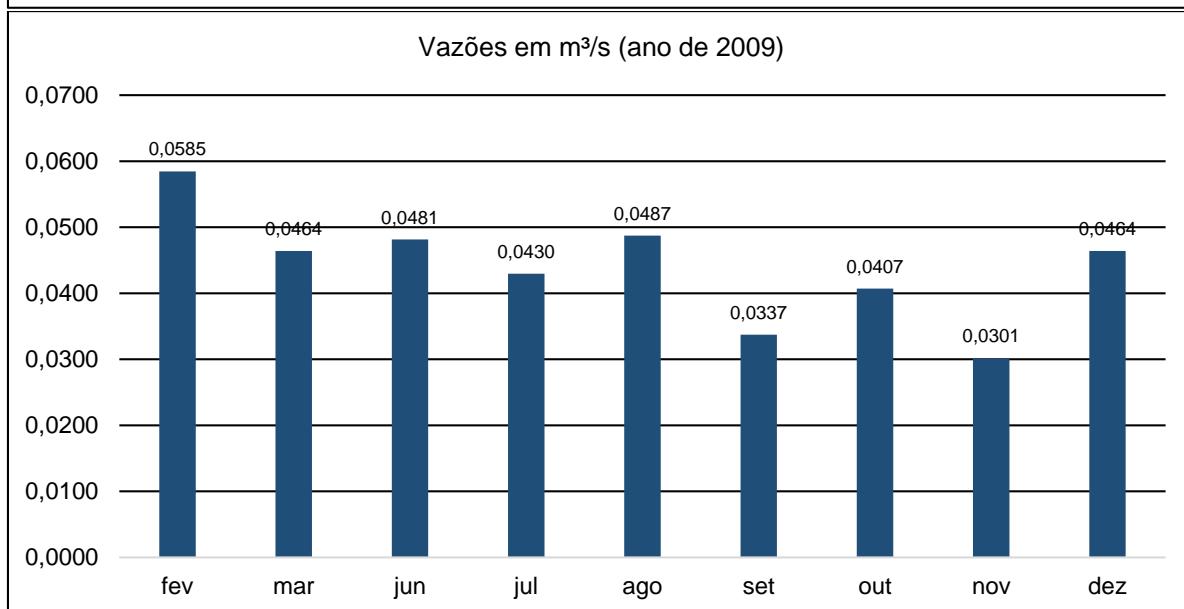
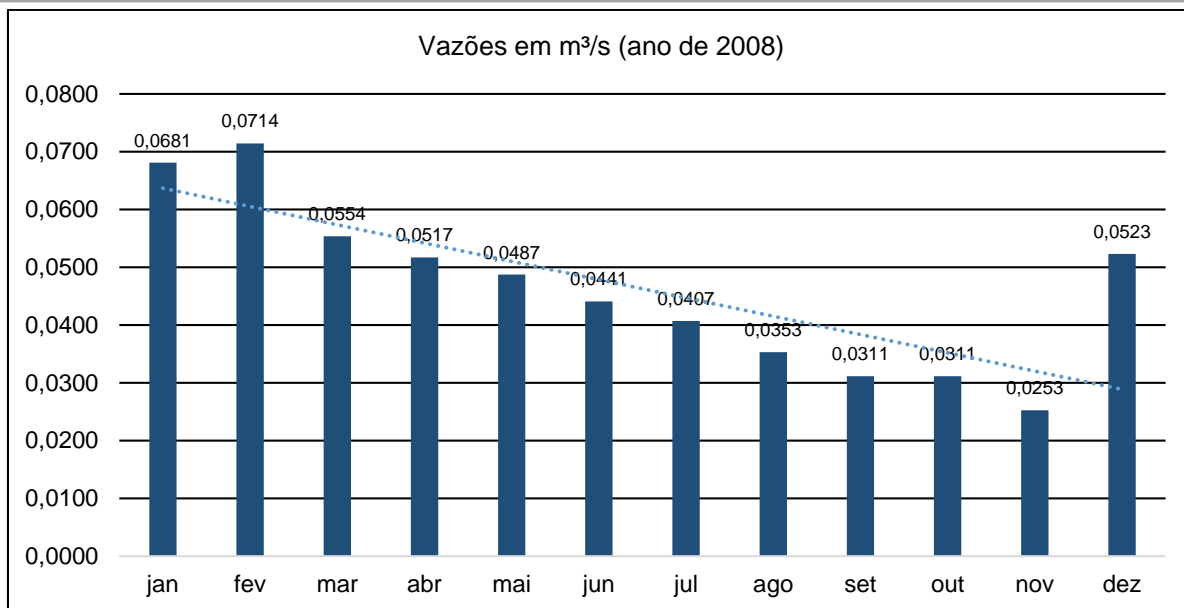
Figura 6.2. Localização dos pontos de aferição de vazões na bacia hidrográfica do córrego da Cava

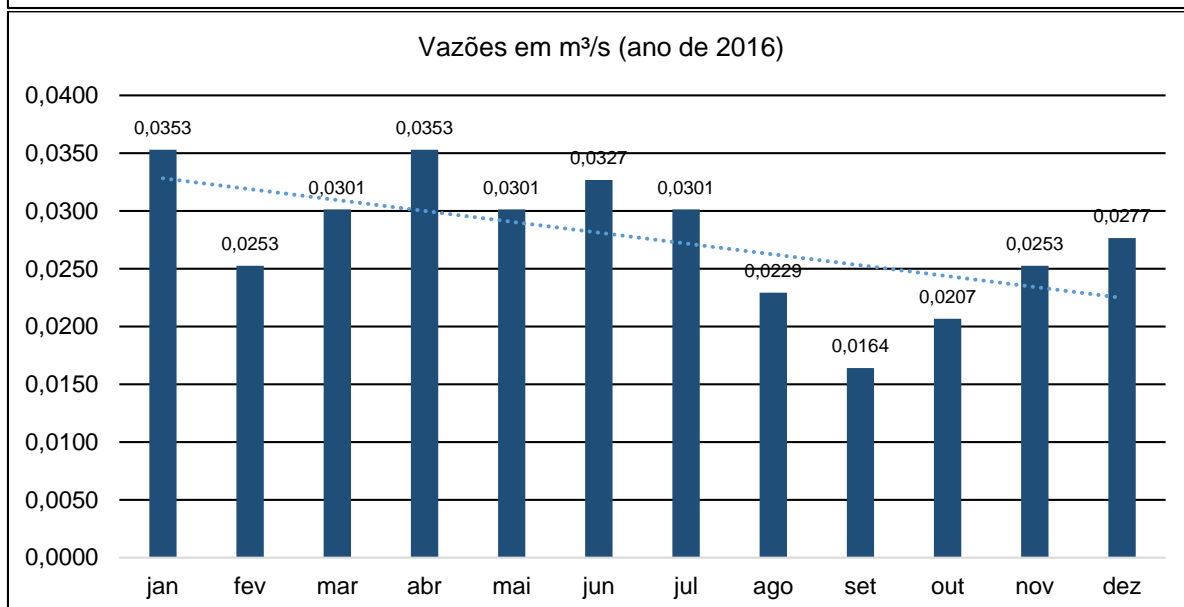
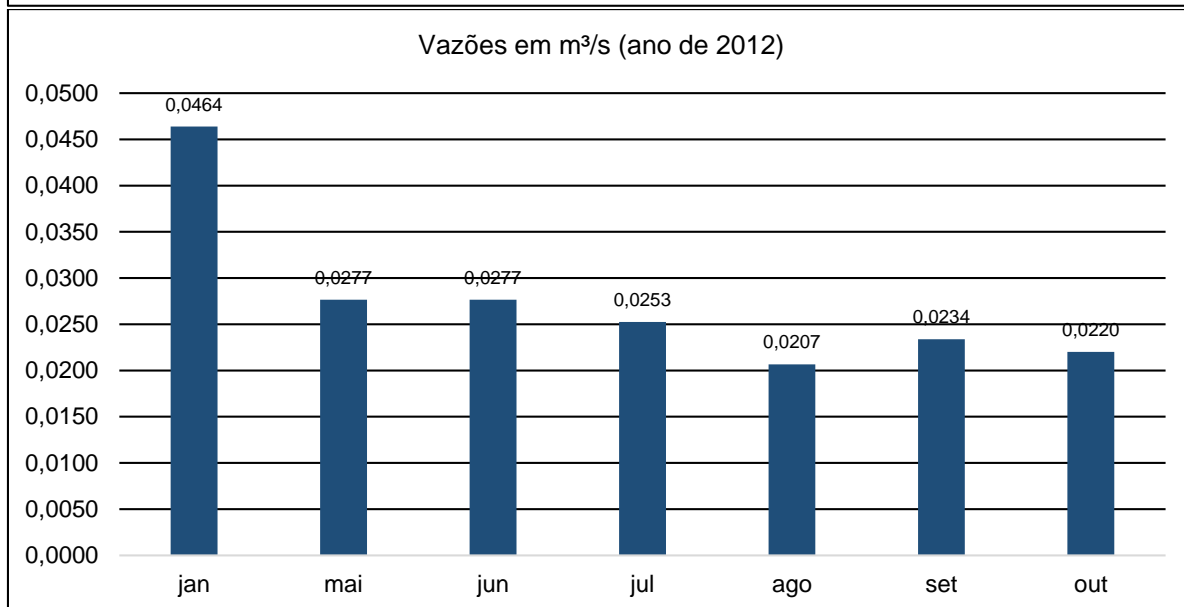
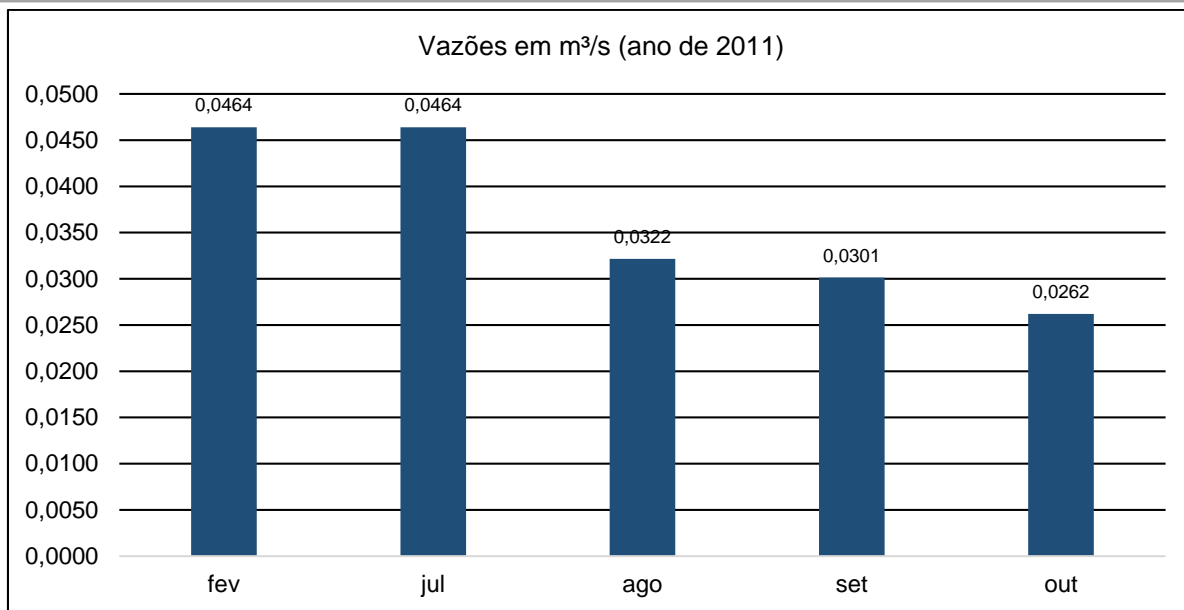


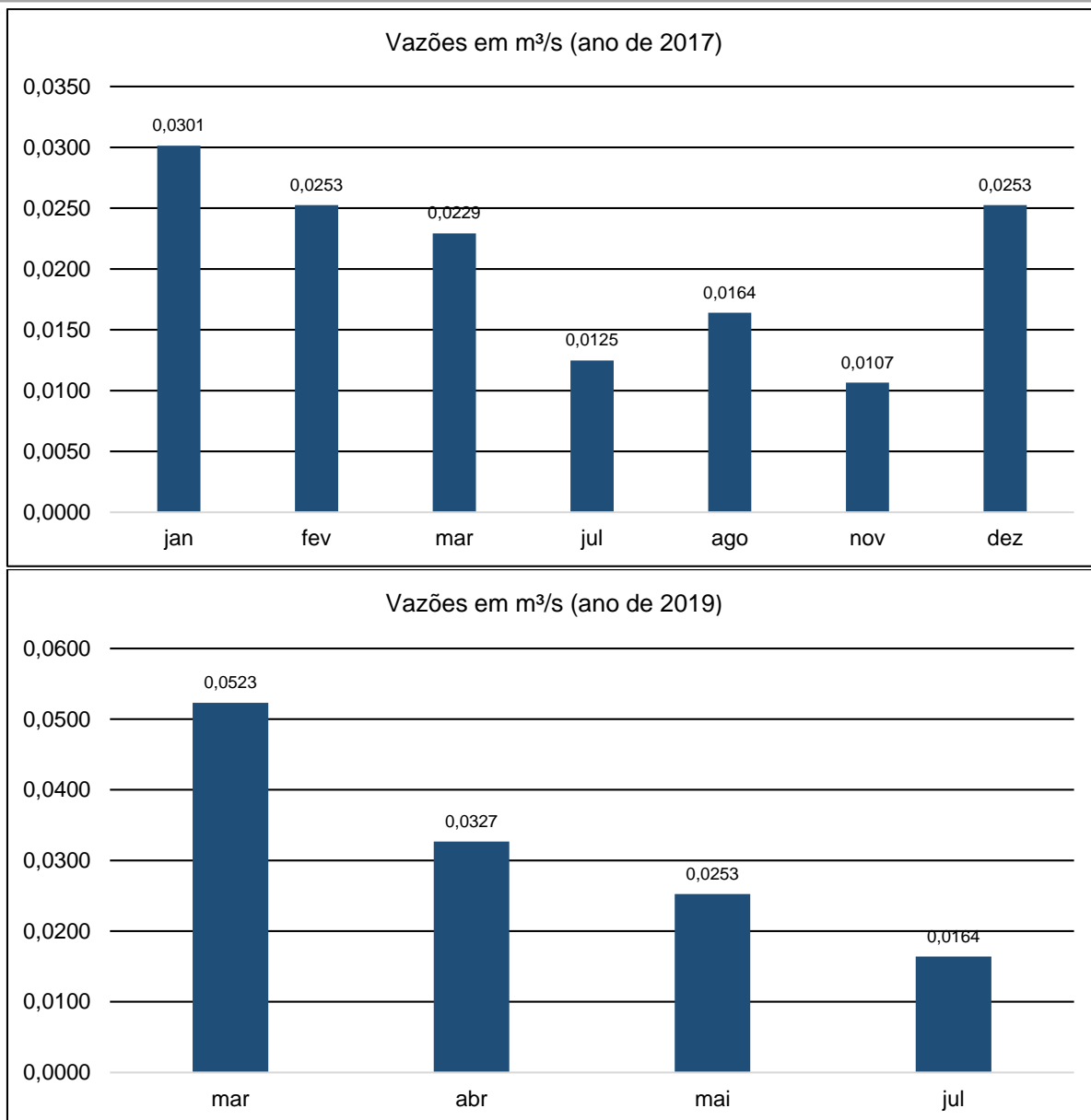
Os dados de vazão do ponto VT-07 podem indicar, preliminarmente, um quantitativo de perda potencial na bacia do córrego da Cava como um todo. Já os pontos 1 a 4, cujas vazões foram aferidas de forma pontual, podem contribuir como uma informação *in loco*, ou seja, na própria área da Pilha de Estéril 01, visto que o VT-07 se encontra no exutório, sendo o ponto de convergência de fluxos de drenagens diretamente afetadas e não diretamente afetadas. Assim, após a apresentação dos gráficos de vazão da série histórica do VT-07 e dos pontos serão descritos os aspectos inerentes às perdas e impactos nas vazões dos cursos d'água direta e indiretamente afetados. Diante disso, a Figura 6.3 apresenta uma sequência de gráficos referentes às vazões da série histórica do vertedouro VT-07.

Figura 6.3. Gráficos da série histórica de vazões próximas ao exutório do córrego da Cava









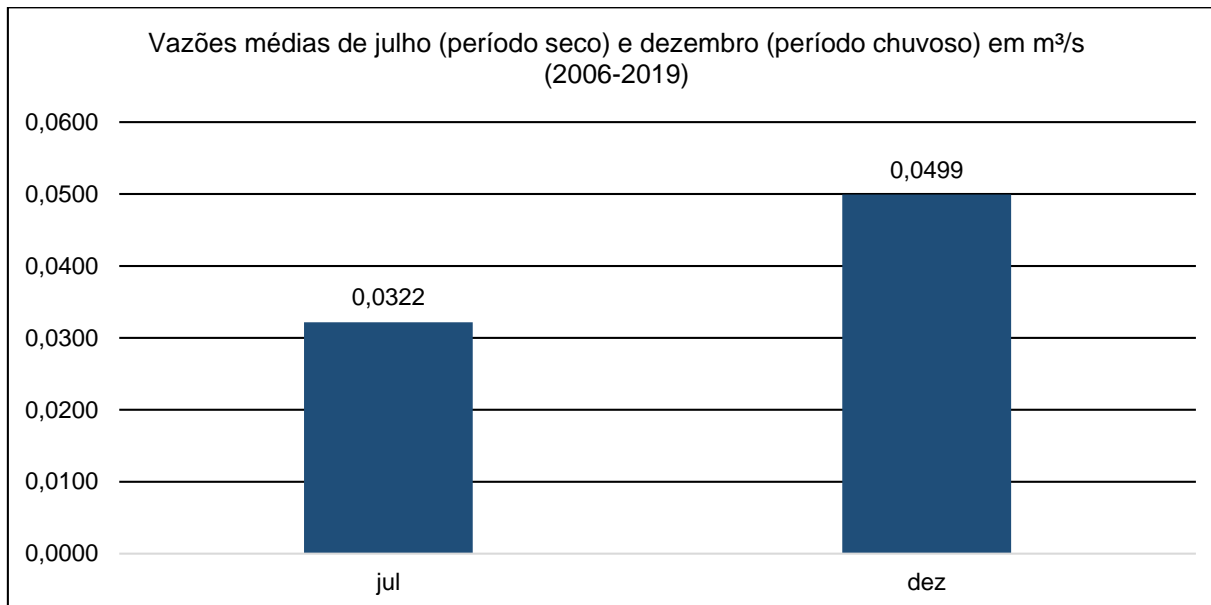
Fonte: Ekos Planejamento Ambiental (2022); adaptado de “Série histórica VT-07” (COMIPA, 2022).

Os anos com pelo menos uma aferição em todos meses são 2006, 2007, 2008 e 2016, sendo observado que as respostas nas vazões estão em conformidade com a sazonalidade da região. A tendência geral é que as vazões diminuam gradualmente a partir de abril (quando se inicia o período seco) e volte a aumentar em novembro (já no período chuvoso). Porém, normalmente as vazões aumentam de modo expressivo em dezembro, visto que a alimentação das drenagens não ocorre imediatamente devido ao tempo de infiltração e percolação das águas pluviais.

Utilizando-se como exemplo os meses de julho (período seco) e dezembro (período chuvoso) e extraído-se a média da série histórica (2006-2019) podemos identificar uma diferença nas

vazões de 0,0177 m³/s (ou 17,7 l/s), ocasionado pela sazonalidade. A Figura 6.4 corresponde ao gráfico de vazões médias de julho e dezembro referente ao período 2006-2019.

Figura 6.4. Gráfico de vazões médias de dois períodos representativos da série histórica



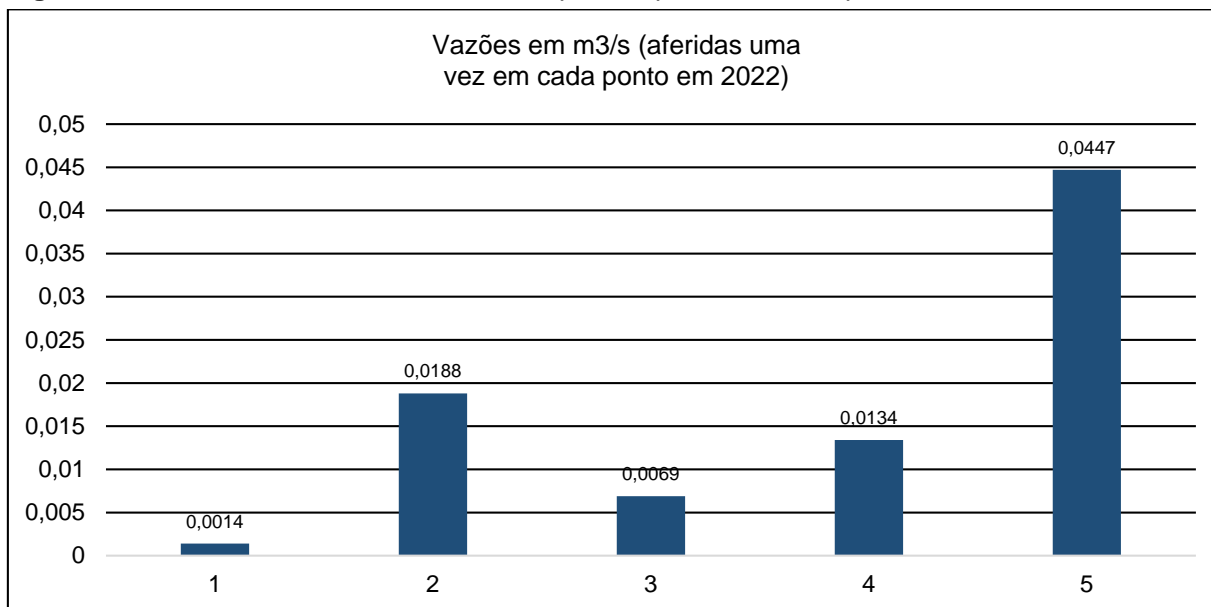
Fonte: Ekos Planejamento Ambiental (2022); adaptado de “Série histórica VT-07” (COMIPA, 2022).

Para complementar os dados de vazão restantes, a Figura 6.5 contempla os valores obtidos em campo em aferições fluviométricas realizadas em abril de 2022 (período chuvoso). É possível identificar que as vazões apresentadas estão condizentes com a ordem do canal e sua área de contribuição, pois excetuando-se o ponto 5 que possui a maior vazão dentre eles (0,0447 m³/s) por estar próximo ao exutório, os demais (situados na área da Pilha de Estéril 01) apresentam vazões bem inferiores por se localizarem a montante, sendo 03 (três) deles em canais de primeira ordem. Desses 04 (quatro) pontos (1, 2, 3 e 4), o ponto 2 é o único que está em canal de 2º ordem (confluência dos contribuintes de 1º ordem oeste e sudoeste, pontos 3 e 4, respectivamente), por isso a vazão superior aos demais.

Como os pontos 1, 2, 3 e 4 estão situados na área de implantação da pilha de estéril, pode-se considerar que a intervenção poderá acarretar, de modo local considerando esta campanha, possíveis perdas na ordem aproximada de 0,0202 m³/s (ou 20,2 l/s), sobretudo em caso de não realização de medidas mitigadoras. Esse resultado (0,0202 m³/s) corresponde à soma das vazões dos pontos 1 e 2, que representam a somatória das descargas líquidas dos 03 (três) contribuintes (leste, oeste e sudoeste) do córrego da Cava. Destaca-se que a supracitada soma não corresponde aos valores aferidos no exutório (média prevista pela série histórica para o período chuvoso do VT-07, de 0,0499 m³/s (ou 49,9 l/s) e valor aferido no ponto 5 de 0,0447 m³/s (ou 44,7 l/s)), pois, conforme observado *in loco*, as

áreas úmidas nas margens do córrego da Cava contribuem com a recarga do mesmo ao longo do canal.

Figura 6.5. Gráfico de vazões obtidos em campo em apenas uma campanha em abril de 2022



Fonte: Ekos Planejamento Ambiental (2022).

Ademais, conforme descargas líquidas consideradas no item 4.4 do presente relatório, a ordem das possíveis perdas calculadas pela empresa DF+ Engenharia pode alcançar o valor de 0,0402 m³/s (ou 40,2 l/s), referente à somatória das vazões adotadas para os contribuintes leste, oeste e sudoeste. No entanto, atenta-se ao caráter preventivo destes valores, utilizados para efeito de cálculo do dimensionamento dos drenos de fundo, os quais objetivam garantir, além das funções ambientais de coleta hídrica ordenada e sem contaminação, a estabilidade dos maciços da pilha. Ressalta-se ainda a aplicabilidade de todas as medidas mitigadoras propostas no projeto, a fim de minimizar as perdas hídricas projetadas.

6.3. Perdas e impactos aos recursos hídricos no local de implantação da pilha de estéril

A partir dos aspectos morfométricos, hidrológicos e da apresentação de dados de vazões da bacia do córrego da Cava, conclui-se que as alterações aos recursos hídricos no local de implantação da pilha de estéril correspondem às seguintes possíveis perdas e/ou impactos:

Quadro 6.2. Síntese das possíveis perdas e impactos aos recursos hídricos da área diretamente afetada

PERDAS E/OU IMPACTOS	CARACTERÍSTICAS GERAIS
“Ocupação” de áreas de recarga	Inevitavelmente as áreas de recarga do aquífero serão ocupadas pela pilha de estéril. Embora a paisagem local já esteja em parte modificada pelo empreendimento, a ocupação de áreas próximas aos divisores topográficos da bacia, que contribuem para a “alimentação” das nascentes após infiltração das águas das chuvas, poderão afetar as vazões à jusante.
“Supressão” de nascentes	Essa perda corresponde às 02 (duas) nascentes (contribuintes leste e oeste) identificadas no local onde será alocada a pilha de estéril.
“Intervenção” direta dos canais	É provável que haja intervenções diretas nos canais, o que pode representar uma perda ou impacto significativo, embora de forma localizada das drenagens. Essa constatação decorre do fato de que a densidade de rios (canais) é muito alta, visto que se trata de uma relação entre a área (no caso da bacia afetada) e a quantidade de rios (canais) de 1ª ordem ser considerada nessa classificação (muito alta). Convém ressaltar que a área afetada de forma direta não será superior a 0,92 km ² na bacia do córrego da Cava, e desta, aproximadamente 0,60 km ² já está ocupada por demais intervenções.
“Alteração” das vazões	A partir dos dados de vazão (série histórica e aferição pontual em período chuvoso no ano de 2022), foi possível identificar vazões de 0,0202 m ³ /s (ou 20,2 l/s) na área de expansão da pilha e 0,0499 m ³ /s (ou 49,9 l/s) no exutório da bacia do córrego da Cava. Dessa forma, é possível que ocorra alterações nessas vazões com a intensificação da ocupação da ADA com a pilha de estéril.

Fonte: Adaptado de Ekos Planejamento Ambiental (2022).

As perdas e impactos aos recursos hídricos constituíram uma análise específica, sendo identificados alterações qualitativas (como a “ocupação” das áreas de recarga, a “supressão” de nascentes e a “intervenção” direta dos canais) e quantitativas (“alteração” das vazões) a partir dados e informações cartográficos e de monitoramentos. Nesse contexto é importante a adoção de medidas de mitigação, conforme previsto pelo empreendimento (descrição a seguir) e a continuidade dos monitoramentos de vazão.

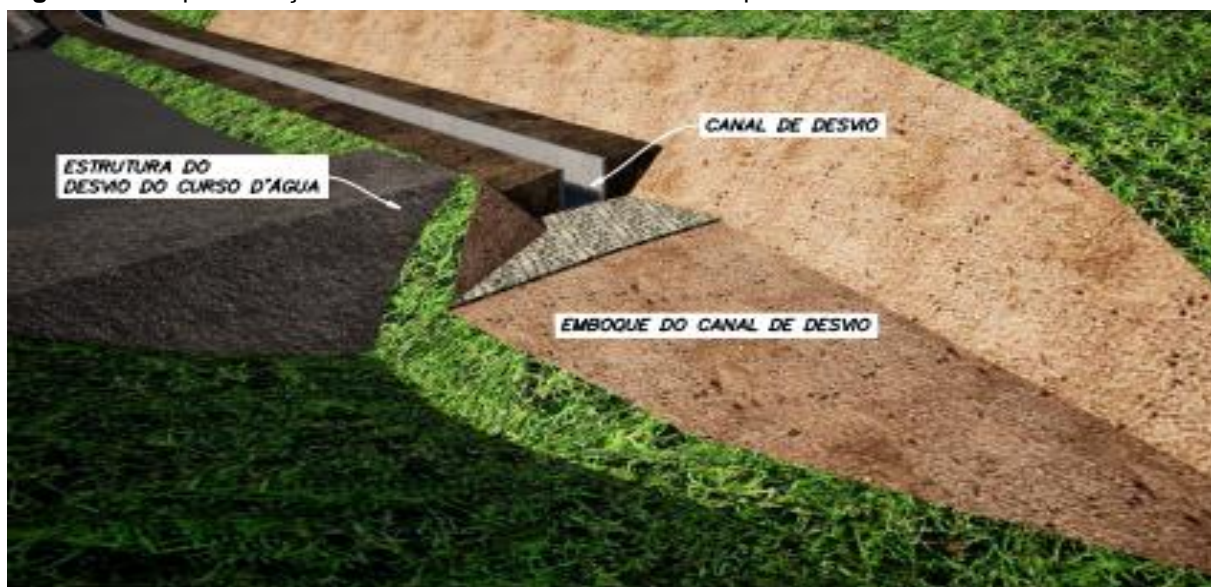
6.4. Mitigação de perdas e impactos nas águas superficiais previsto pelo Projeto Executivo

O projeto da pilha de estéril contempla algumas medidas de mitigação das perdas e impactos nas águas superficiais na área diretamente afetada, sobretudo para manutenção de parte ou toda a vazão das drenagens. Para isso, conforme objeto de apresentação do presente relatório, é previsto a instalação dos drenos de fundo da Pilha e do Dique de Contenção de

Sedimentos, com o objetivo de coletar as águas provenientes das nascentes e conduzi-las, de forma ordenada e sem contaminação, até o ponto de deságue, evitando saturações e consequente desestabilização dos maciços.

Ademais, conforme descrito no item 3.5, o projeto executivo indica uma estrutura de desvio do contribuinte sudoeste (que não será ocupado pela estrutura de deposição de estéril), com a função de devolver a água para o ambiente, a jusante do Dique de Contenção de Sedimentos, com a mesma qualidade e quantidade em que foi captada. A seguir, na Figura 6.6, é apresentado o desenho como forma de esboço da estrutura e canal de desvio.

Figura 6.6. Representação da estrutura de desvio e do emboque do canal de desvio



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

Dessa forma, aponta-se que estão previstas ações de mitigação das perdas e impactos nos recursos hídricos da área de expansão da Pilha de Estéril 01.

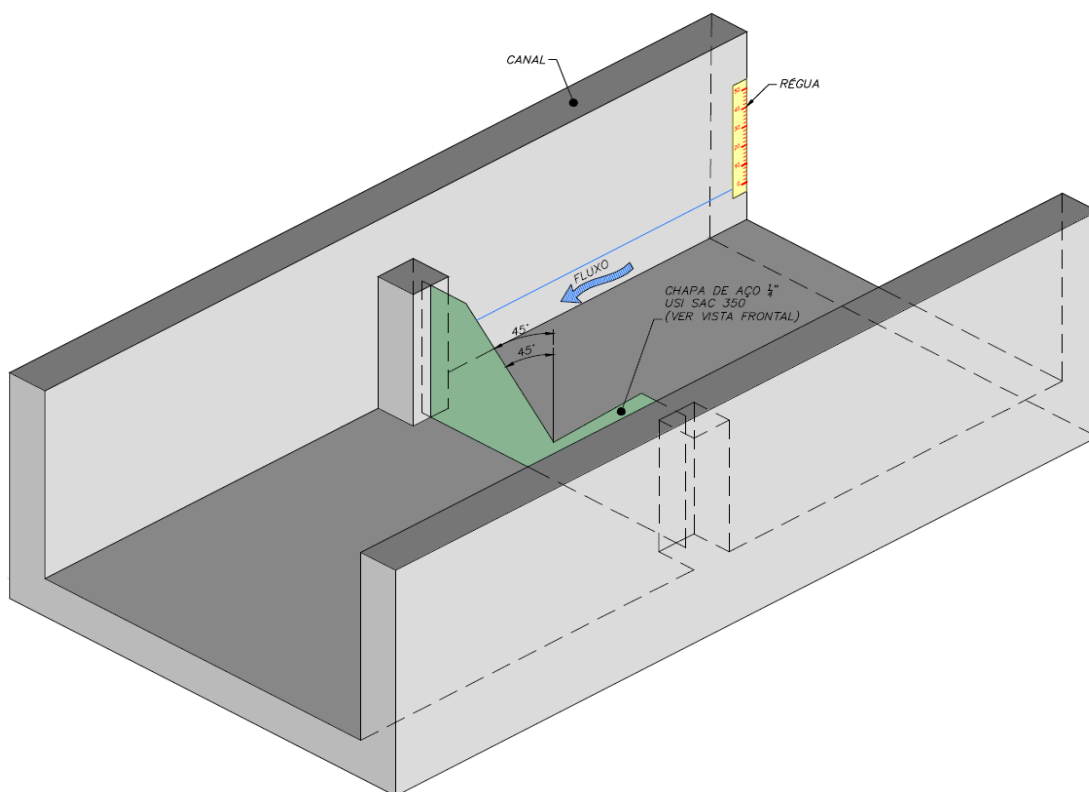
Diante do exposto, percebe-se que o impacto na descarga líquida do contribuinte sudoeste com a instalação da estrutura de desvio próximo a sua foz tende a ser mínimo. Logo, as perdas hidrológicas potenciais na bacia do córrego Cava podem se resumir ao somatório das vazões aferidas nos contribuintes leste e oeste (pontos 1 e 3, respectivamente), correspondente ao valor de $0,0083 \text{ m}^3/\text{s}$ (ou $8,3 \text{ l/s}$). Todavia, a instalação do dreno de fundo, que coletará e direcionará as águas dos supracitados contribuintes, tem como intuito mitigar esse impacto quantitativo na descarga líquida da bacia. Para tanto, sabe-se que é difícil estimar a ordem dessa perda, sendo projetado um medidor de vazão a jusante do dreno de fundo para monitorar sua descarga líquida ao longo do tempo, conforme detalha o item 7 adiante.

7. MEDIDOR DE VAZÃO

Conforme descrito no estudo Dimensionamento Hidráulico do Dique de Contenção de Sedimentos, de responsabilidade da empresa DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a) elaborado pelo profissional Luis Freitas, sob coordenação do projeto de Rinaldo Lemos e revisão de Eduardo Bueno, foram previstos 02 (dois) medidores de vazão, o primeiro localizado após a drenagem interna do Dique de Contenção de Sedimentos e o outro, que será apresentado no presente item, a jusante do dreno de fundo Principal.

A descarga líquida restituída ao curso natural deve ser monitorada e a instrumentação recomendada é de medidor de vazão por profundidade e vertimento em extravasor triangular de ângulo reto (medidor em V). A Figura 7.1 ilustra os seus principais componentes.

Figura 7.1. Esquema 3D do medidor de vazão, sem escala

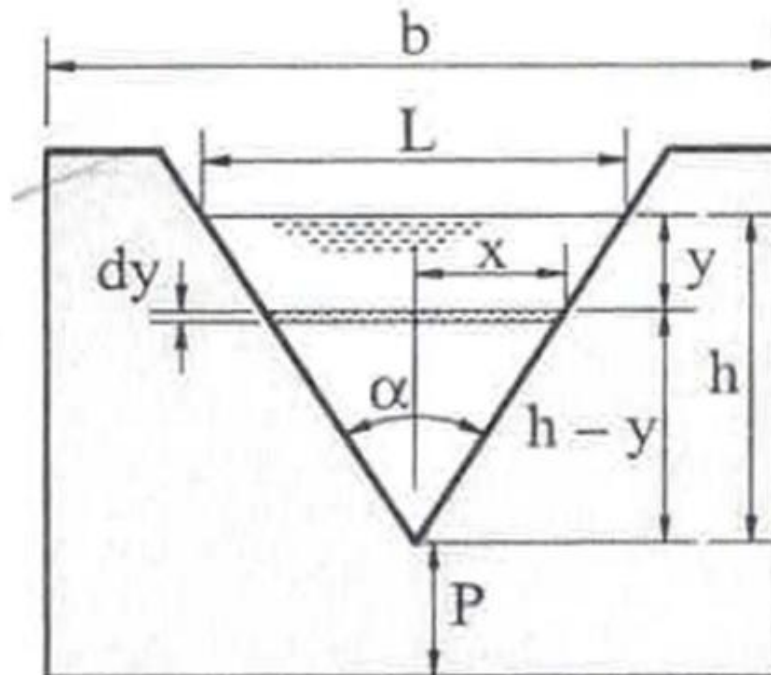


Fonte: DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos LTDA (2021a).

Para o dimensionamento do medidor de vazão, foi adotada a vazão máxima estabelecida no item 4.4 de 0,1257 m³/s.

O canal de controle da estrutura hidráulica deve conter dimensões mínimas que tolerem estas alterações sem prejudicar a leitura e as dimensões mínimas da geometria, conforme recomenda Porto (2006) e cuja seção de controle do canal está ilustrada pela Figura 7.2.

Figura 7.2. Esquema de corte do controle do medidor de vazão



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

Em que:

- P deve ser maior do que 3h;
- b deve ser maior do que 6h;
- Afastamento da régua deve ser maior do que 10h.

O formato com $\alpha = 90^\circ$, segundo Azevedo Netto (2015), permite maior precisão na medida de cargas correspondentes a vazões reduzidas e, por isso, são mais empregados na prática. Para vertedores deste tipo, aplica-se a fórmula de Thompson, representada pela equação:

$$Q = 1,4 \cdot H^{5/2} \quad \text{Equação 7.1}$$

Onde:

- Q denota vazão (m^3/s);
- H denota a altura da lâmina líquida fluente registrada na régua (m).

A curva resultante da aplicação desta equação e que deve ser utilizada como parâmetro de conversão da leitura realizada nas unidades aqui propostas é apresentada na Tabela 7.1.

Tabela 7.1. Curva de descarga para vertedores triangulares a ser aplicada para monitoramento da vazão – Fórmula de Thompson

ALTURA (H) (m)	VAZÃO (Q) (l/s)
0,20	25,0
0,21	28,3
0,22	31,8
0,23	35,5
0,24	39,5
0,25	43,7
0,30	69,0
0,35	101,5
0,40	141,7
0,45	190,1
0,50	247,5

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

De acordo com a vazão indicada para o medidor de vazão, na Tabela 7.2 são apresentadas as dimensões propostas para a estrutura hidráulica.

Tabela 7.2. Dimensionamento hidráulico do medidor de vazão da drenagem de fundo

CANAL DE APROXIMAÇÃO		CONTROLE DO MEDIDOR DE VAZÃO – $\alpha = 90^\circ$				Q _{proj} (m ³ /s)
Base (m)	Altura (m)	h (m)	P (m)	b (m)	Afastamento Régua (m)	
6,75	1,80	0,45	1,35	2,70	4,60	0,125714

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

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou o memorial de cálculo do dimensionamento do sistema de drenos de fundo e os estudos de verificação e dimensionamento das faixas granulométricas dos materiais a serem empregados, assim como o tratamento da fundação da Pilha de Estéril 01, informações que subsidiarão o desenvolvimento do referido projeto executivo. Entretanto, é importante destacar que, após a autorização de supressão vegetal e a consequente possibilidade de investigação na área dos talwegues, o tratamento de fundação previsto poderá ser alterado em função dos resultados destes ensaios.

A partir das análises de estabilidade para os taludes de escavação dos drenos de fundo, verificou-se que todos resultados se apresentaram acima do F.S. = 1,3, atendendo, portanto, ao grau de segurança da estrutura preconizado na NBR 11682 (ABNT, 2009) e as boas práticas de engenharia para taludes provisórios.

Com relação aos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do córrego da Cava, tem-se que a ocupação de sua área de recarga será ampliada e os canais dos contribuintes leste e oeste serão diretamente afetados. Nesse contexto, é importante ressaltar a adoção de medidas de mitigação previstas pelo empreendimento (instalação de estrutura de desvio e drenos de fundo) e a continuidade dos monitoramentos de vazão, com a adição de nova estrutura hidráulica para essa finalidade.

Portanto, sendo apresentado o projeto e o devido dimensionamento hidráulico, solicita-se a avaliação e o deferimento desta outorga para regularização de canalização de cursos de água, com finalidade de coletar as águas provenientes das nascentes e conduzi-las, de forma ordenada e sem contaminação, até o ponto de deságue, evitando saturações e consequente desestabilização dos maciços da expansão da Pilha de Estéril 01 e do Dique de Contenção de Sedimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. **NBR 11.682: Estabilidade de Encostas**. Rio de Janeiro/RJ, 2009.

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. **NBR 13029: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha**. Rio de Janeiro/RJ, 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1974, 149 p.

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção e Projeto**. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 1996, 647p.

DARCY, H. (1856). **Les Fontaines publiques de la ville de Dijon** (The Public Fountains of the City of Dijon), Tradução para o inglês de Patricia Bobeck, Kendall/Hunt Publishing Co., 2004. 598 p

ROSA, R. M. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA da Expansão da Pilha de Estéril 01: Volume II**. Uberlândia. Ekos Planejamento Ambiental, 2022.

FELL R., MACGREGOR P., STAPLEDON D., BELL G.. **Geotechnical Engineering of Dams**. Londres, 2005.

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

HORTON, R. E. Erosional development of streams and the drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. Amer. Bulletin**, 56(3), 1945, p. 275-370.

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 18 maio 2022.

MATOSO, L; NUNES, E; OLIVEIRA, T; FAGUNDES, J. **Dimensionamento Do Dreno De Fundo**: Nova Geometria Da Pilha - Relatório Técnico. Belo Horizonte: Df+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos Ltda, 2021b.

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

MÜLLER, V. C. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. **Technical report**. New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology. n. 3, p. 30, 1953.

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.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude): analysis of erosional topography. **Geol. Soc. America Bulletin**, 63(10), 1952, p. 1117-1142.

VERTEMATTI, J; AGUIAR, P. 1977. **Sistemas Drenantes**: Aspectos Teóricos e Práticos, Campinas, Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAW-Hill do Brasil, 1975. 245 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: 177.106.152.112



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

crea-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

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

EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA - CNPJ: 14.357.805/0001-00

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:

