



Relatório Técnico de Outorga

**COD 12 – DESVIO TOTAL DE CURSO DE
ÁGUA**



OURO PRETO/MG
OUTUBRO/2023

EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE RELATÓRIO			
Razão Social:	Outorga Mineira Ltda	E-mail:	outorgamineira@gmail.com
CNPJ:	48.965.473/0001-50	Https:	www.outorgamineira.com
Belo Horizonte/MG – Rua Jaime Gomes, 191 – Floresta – 31.015-240			
Contatos: 31 – 98363-1984 – 35 – 98821-3734 – 31 – 99257-3586			

EQUIPE TÉCNICA			
QUADRO TÉCNICO		FORMAÇÃO / REGISTRO	RESPONSABILIDADE
RAFAEL GONTIJO	BATISTA	Eng. Ambiental – CREA MG: 152.738/D	Responsável Técnico

CONTATO RESPONSÁVEL NO EMPREENDIMENTO	
Função:	Meio Ambiente e Segurança
Contato:	Alexandre Mortimer Guimarães
Endereço:	Avenida Américo Renê Gianetti, s/n, Bairro Saramenha CEP: 35.400-000 Ouro Preto/MG
Telefone:	31 3559 9404 / 38 99890 6655
E-mail:	alexandre.guimaraes@actechbr.com

SUMÁRIO

1	IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR	6
2	APRESENTAÇÃO	7
3	OBJETIVOS	8
3.1	OBJETIVO GERAL	8
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
4	DADOS GERAIS	9
5	LOCALIZAÇÃO E ACESSO AO EMPREENDIMENTO	10
6	CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO.....	11
7	JUSTIFICATIVA DA REALIZAÇÃO DA INTERVENÇÃO	15
8	CARACTERÍSTICAS FISIográficas DA BACIA E DO CURSO D'ÁGUA.....	16
9	COORDENADAS DOS PONTOS DE INÍCIO E FIM DO DESVIO	17
10	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	19
10.1	DELIMITAÇÃO DA BACIA	20
10.2	OBTENÇÃO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{7,10}$	22
10.3	IMPACTOS A JUSANTE E A MONTANTE	27
10.4	DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA.....	28
10.5	ESTUDO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO DA BACIA DO RIO DOCE.....	28
11	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO VIA MÉTODO DIRETO .	29
11.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO	32
11.1.1	<i>TEMPO DE CONCENTRAÇÃO</i>	33
11.1.2	<i>USO E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO</i>	36
11.1.3	<i>CHUVAS INTENSAS</i>	39
11.1.4	<i>ANÁLISE DO RISCO E DEFINIÇÃO DO PERÍODO DE RETORNO (TR)</i>	40
11.2	CONDICIONANTES HIDRÁULICAS.....	42
11.2.1	<i>ESCOLHA DO REVESTIMENTO</i>	42
11.2.2	<i>DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO</i>	44
12	RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO	46
12.1	SIMULAÇÃO DE TRÂNSITO	47
13	CONCLUSÃO	50
14	RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....	51
15	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

FIGURAS

Figura 1 - Localização e acesso ao empreendimento. Fonte: Google Maps.....	10
Figura 2 - Localização do ponto de captação superficial. Fonte: Arcmap, 2023. .	11
Figura 3 – Foto da Barragem do Marzagão. Fonte: Autor, 2023.	13
Figura 4 – Foto da Barragem do Marzagão, ao fundo uma das nascentes de contribuição. Fonte: Autor, 2023.	14
Figura 5 - Foto do início e fim da intervenção no córrego Marzagão. Fonte: Autor, 2023.....	15
Figura 6 - Localização do município de Ouro Preto nas bacias Hidrográficas.	16
Figura 7 – Início e fim do desvio total do córrego Marzagão. Fonte: Arcmap, 2023.....	18
Figura 8 – Bacia de Contribuição destacada em amarelo e linhas de drenagem. Fonte: IDE Sisema.	21
Figura 9 – Mapa do rendimento específico médio de longo termo, destaque para bacia de contribuição em vermelho. Fonte: Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais.	24
Figura 10 – Mapa de tipologias regionais homogêneas, destaque para bacia de contribuição em vermelho. Fonte: Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais.....	25
Figura 11 – Rendimento Específico. Fonte: IDE Sisema.....	26
Figura 15 – Resultados obtidos no IDESISEMA com outorgas a jusante e a montante em destaque. Fonte: IDE SISEMA.....	27
Figura 13 – Diagrama topológico inserido no <i>software</i> HEC-HMS.....	31
Figura 14 – Sub-bacias contempladas para o projeto de descaracterização da Barragem do Marzagão.....	32
Figura 15 – Ábaco para a definição da velocidade no método cinemático para o cálculo do tempo de concentração (Fonte: Pinheiro, 2011).....	34
Figura 16 – Mapa de uso e classificação do solo para a descaracterização da Barragem do Marzagão.....	37
Figura 17 – Hidrogramas de cheia para os canais periféricos.....	48
Figura 18 – Hidrogramas de cheia para os trechos do canal principal.	48

TABELAS

Tabela 1 – Parâmetro da função de inferência para rendimentos mínimo para Tipologia Homogênea 312. Fonte: COPASA (1993).	26
Tabela 2 – Valores do Estudo de Regionalização da bacia do Rio Doce 2022 Ottotrechos. Fonte: IDE.....	29
Tabela 3 – Tempos de concentração e de retardo considerado para as sub-bacias dos canais de drenagem para a descaracterização da Barragem do Marzagão..	36
Tabela 4 – – Valores de CN para a bacia hidrográfica da Barragem do Marzagão. (Fonte: Chow; Maidment; Mays, 1988; Valores dos afloramentos rochosos e das pilhas estimados pela equipe técnica da Potamos).	38
Tabela 5 –Cálculo do CN para as sub-bacias da Barragem do Marzagão.....	38
Tabela 6 – Quantis de altura pluviométrica representativos para a Barragem do Marzagão (Fonte: Potamos, 2020).....	39
Tabela 7 – Relação intensidade, duração e frequência para a Barragem do Marzagão (Fonte: Potamos, 2020).....	40
Tabela 8 – Risco hidrológico (%) em função do tempo de retorno (TR) e da vida da estrutura hidráulica.....	41
Tabela 9 – Matriz de vantagens e desvantagens de revestimentos para os canais da Barragem do Marzagão.....	43
Tabela 10 – Velocidades crítica e limite para gabiões tipo colchão e caixa (Fonte: Maccaferri, 2017).....	46
Tabela 11 – Vazões de projeto para as sub-bacias dos canais de descaracterização da Barragem do Marzagão.....	47
Tabela 12 – Dimensionamento dos canais de drenagem para a descaracterização da Barragem do Marzagão.....	49
Tabela 13 – Dimensionamento do diâmetro médio do enrocamento e da espessura dos revestimentos em gabião tipo colchão.	50

1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Empreendedor

ACTECH - ALUMINA CHEMICAL TECHNOLOGY LTDA

Natureza Jurídica

SOCIEDADE EMPRESÁRIA LIMITADA

Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica

17.720.994/0001-13

Atividade Econômica

PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO E SUAS LIGAS EM FORMAS PRIMÁRIAS

Administrador

MAURICIO GONTIJO DE MENDONCA LINS

Endereço

AVENIDA AMÉRICO RENÊ GIANETTI, S/N, BAIRRO SARAMENHA,
CEP: 35.400-000 - OURO PRETO/MG

2 APRESENTAÇÃO

Em conformidade com os preceitos de titularidade da água no Brasil, estabelecidos pela Constituição Federal, toda a rede Hidrográfica da Bacia do Rio Doce, na qual está inserida a intervenção objeto deste estudo, é de domínio do Estado de Minas Gerais. Desta forma, o relatório em epígrafe foi elaborado de acordo com os preceitos estabelecidos pelo órgão gestor do Estado de Minas Gerais - Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), em conformidade a Lei Estadual 13.199 de 29 de janeiro de 1999, com o DECRETO Nº 47.705, DE 4 DE SETEMBRO DE 2019 e a PORTARIA IGAM Nº 48, DE 04 DE OUTUBRO DE 2019 as quais dispõem sobre uso e intervenção em recurso hídrico, além o Termo de Referência do IGAM para elaboração de processo de outorga.

Cabe ressaltar que os estudos constantes no presente relatório se destinam somente para fins de aprovação da referida outorga junto ao órgão ambiental (URGA CM – Unidade Regional de Gestão das Águas Central Metropolitana).

A elaboração deste Relatório Técnico de Outorga observou as diretrizes contidas no “Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais (IGAM, 2010)” e instruções e procedimentos para elaboração de processo de outorga, específicas a cada modalidade de uso solicitada, disponibilizadas no site da SEMAD/IGAM.

“DESVIO PARCIAL OU TOTAL DE CURSO DE ÁGUA”

São passíveis de outorga todos os usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um curso de água, excetuando-se os usos considerados insignificantes que são, entretanto, passíveis de cadastramento junto à autoridade outorgante.

A outorga de direito de uso de recursos hídricos não é definitiva, sendo concedida por um prazo limitado, sendo que a lei já estipulou a sua validade máxima em 35 (trinta e cinco) anos, ainda que possa haver renovação, como também a sua suspensão ou seu cancelamento, conforme regulamento.

As outorgas são controladas pelo poder público e são dependentes das condições de utilização (quantidade e local de captação ou intervenção), o que

possibilita o controle e o gerenciamento dos respectivos modos de uso das águas superficiais e subterrâneas e das finalidades a que se destinam.

A despeito da descentralização do recebimento dos requerimentos e da análise dos processos de outorga de direito de uso de recursos hídricos nas Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SUPRAMs observa-se, entretanto, a utilização dos mesmos critérios e procedimentos na tramitação e na análise jurídica e técnica dos processos de outorga.

Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os seguintes usos de recursos hídricos, de acordo com o parágrafo IV o Art. 2 do Decreto Estadual 47.705/2019:

“... IV – construção de dique ou desvio em corpo de água;”

Desvio de curso de água é considerado uma alteração do percurso natural do corpo de água para fins diversos. O desvio em corpo d'água pode ser parcial ou total. O desvio parcial consiste na preservação em parte do curso d'água original e geração de novos cursos de água artificiais com vazões inferiores ao do curso original. O desvio total consiste em desviar o leito natural completamente.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O presente relatório tem como objetivo geral a solicitação de outorga para fins de desvio total de curso de água no córrego do Marzagão, afluente direto do Ribeirão Funil.

O presente Relatório Técnico de Outorga (Desvio Total) instrui o processo de obtenção de certificação do direito de uso dos recursos hídricos, a fim de garantir a restauração ambiental da área afetada pela barragem Marzagão, através da sua descaracterização.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Constituem os objetivos específicos do presente trabalho os itens relacionados abaixo:

- Caracterização e descrição geral do empreendimento;

- Justificativa da realização da intervenção;
- Apresentar informações referentes ao curso de água no trecho da intervenção e ao canal de desvio, incluindo as características físicas e geométricas dos mesmos;
- Informar as coordenadas dos pontos de início e fim do desvio;
- Apresentar o estudo hidrológico utilizado para a definição das vazões transportadas no canal de desvio, com seus respectivos períodos de retorno;
- Apresentar o dimensionamento hidráulico do canal de desvio para a vazão de projeto, bem como de outras obras hidráulicas que compõe o desvio;
- Apresentar os critérios utilizados para a definição do revestimento das seções do desvio, levando em consideração aspectos hidráulicos, tecnológicos, operacionais, ambientais e sociais;
- Apresentar o projeto conceitual do desvio contendo plantas, perfis, desenhos técnicos construtivos;
- Informar sobre a existência de usuários de recursos hídricos no trecho desviado.
- Responsabilidade Técnica;
- Referências Bibliográficas.

4 DADOS GERAIS

- Bacia Hidrográfica Federal: Rio Doce;
- Bacia Hidrográfica Estadual: Rio Piranga;
- CBH: DO1;
- Local do Empreendimento: Município de Ouro Preto – MG;
- Coordenadas Geográficas:
 - Início: Latitude: 20°24'10.081" S; Longitude: 43°33'7.478" O;
 - Final: Latitude: 20°24'1,140" S; Longitude: 43°32'26,060" O;
- Datum: WGS 84.

5 LOCALIZAÇÃO E ACESSO AO EMPREENDIMENTO

O empreendimento localiza-se na zona rural do município de Ouro Preto, localidade do Bairro Saramenha, distante cerca de 122,0 quilômetros da cidade Administrativa de Minas Gerais. O acesso, a partir da cidade Administrativa de Minas Gerais, pode ser realizado pela rodovia Papa João Paulo II, 4001 no Serra Verde, pegue a Av. Brasil, Av. Prefeito Américo Gianetti/Rod. Papa João Paulo II/MG-010, Av. Cristiano Machado e Av. Afonso Pena até Av. Nossa Sra. do Carmo em São Pedro, cerca de 39 min (22,2 km), siga a BR-356 e Rodovia dos Inconfidentes até Ouro Preto, cerca de 2 h 10 min (105,0 km), continue até seu destino virando à direita na estrada para Ouro Branco/MG, trevo de acesso ao bairro de Saramenha é feito por meio da BR 356, na qual percorre-se cerca de 450 m no sentido à cidade de Belo Horizonte, a partir do entroncamento da BR 356 com a MG 129. A partir deste ponto, toma-se a estrada vicinal à esquerda, na qual segue-se por mais 2,43 km até se alcançar o barramento sem captação de água, onde é feito a disposição de rejeitos a seco do processo de produção de alumina e hidratos de alumínio, e futuro desvio. O referido trajeto pode ser observado conforme figuras 1 e 2 a seguir:

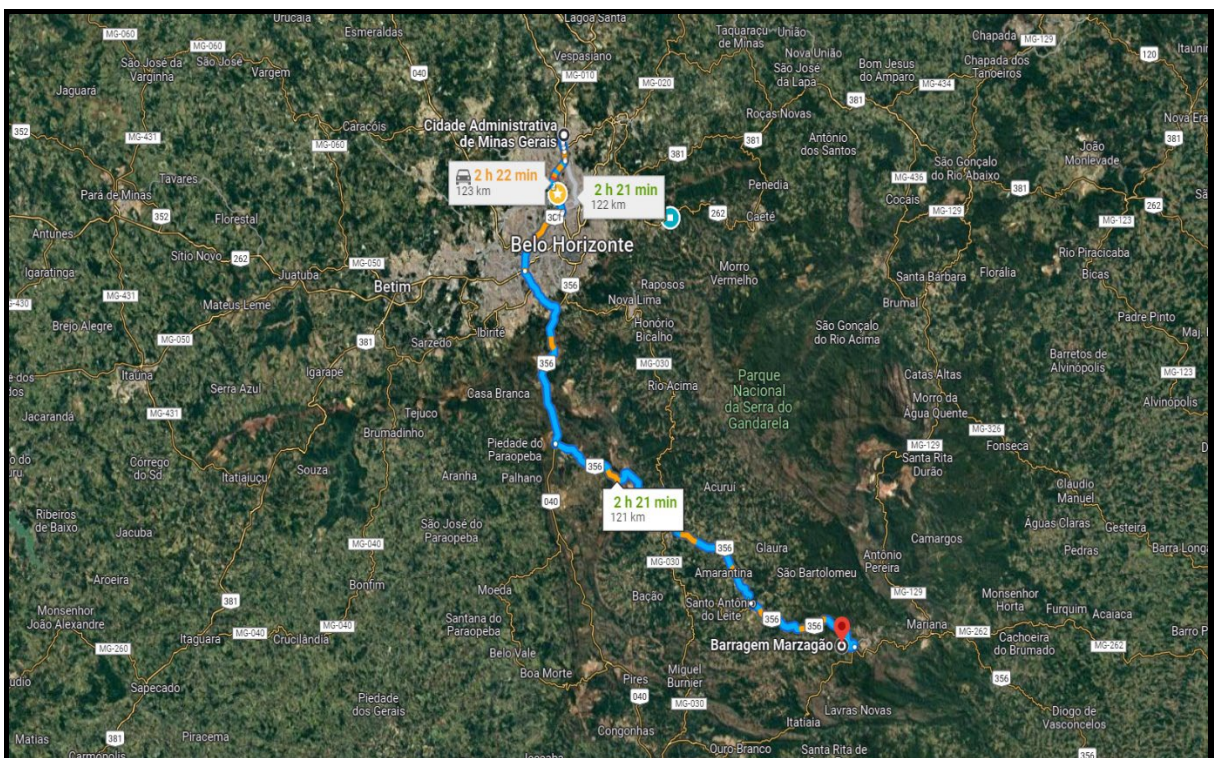


Figura 1 - Localização e acesso ao empreendimento. Fonte: Google Maps.



Figura 2 - Localização do ponto de captação superficial. Fonte: Arcmap, 2023.

6 CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO

As atividades industriais em Saramenha se iniciaram em 1934 com a implantação da Eletro Química Brasileira S/A – ELQUISA, que operou até junho de 1946. Em 1950 o controle acionário foi assumido pela Alcan, e as instalações industriais passaram por expansões que levaram ao aumento da produção de alumina para 145.000tpa e 60.000tpa de alumínio.

A Novelis surgiu em 2005, com o desmembramento do negócio de laminados da Alcan Alumínio do Brasil, e, em 2007 foi adquirida pela Hindalco Industries Ltd., principal empresa do Grupo Aditya Birla. O Grupo é um conglomerado multinacional baseado na Índia, com operações em 36 países, em diversos setores, tais como agronegócio, químico, metais não-ferrosos, mineração, têxtil, serviços financeiros, entre outros.

Em 2013, a Hindalco Industries Ltda. reestruturou os negócios da Novelis no Brasil por meio da transferência de parte de seus ativos, a fábrica de alumina e mina

de bauxita, para a Hindalco do Brasil Indústria e Comércio de Alumina Ltda, ficando a Novelis do Brasil dedicada aos negócios de laminação de alumínio.

Atualmente desde a alteração da denominação social constante no item III, do 24º Aditamento ao Contrato Social, bem como o despacho nº 17/2022/SEMAD/SUPPRI/DCP, a fábrica instalada no bairro Saramenha em Ouro Preto/MG vem sendo operada pela Actech - Alumina Chemical Technology Ltda.

A ACTECH se dedica a produzir de maneira sustentável e partilhada, com atuação nos mais diversos vínculos da cadeia produtiva de aluminas, provindo desde a mineração da bauxita, ao refino de aluminas especiais de alta tecnologia. A indústria de produtos de alta tecnologia, agregando valor e promovendo o progresso, responsabilidade social, proteção ambiental e performance econômica.

O empreendimento localizado na região de Saramenha em área urbana do município de Ouro Preto/MG, possui título de domínio nº3, registrado sob matrícula nº 6.587 no Cartório de Registro de Imóveis da Comarca de Ouro Preto, localizado no Bairro Saramenha, com descrição de Gleba 17 área de 117.861,6 m² e perímetro de 2.127,6m. O barramento de nível, objeto deste Relatório Técnico, se encontra na mesma Matrícula nº. 6.687, na Gleba F.

O empreendimento opera por meio de TAC firmando em 12 de setembro de 2022, onde exerce as atividades enquadradas na DN 217/2017, B-04-01-4 Metalurgia dos metais não ferrosos em formas primárias, inclusive metais preciosos, F-05-19-0 Barragem de contenção de resíduos industriais e A-05-04-5 Pilhas de rejeito/estéril.

No processo de produção da alumina, ocorre a geração do rejeito denominado lama vermelha, que antigamente era bombeado, após processo de neutralização, da Fábrica de Alumina para a Barragem Marzagão, localizada a 2 km desta (em linha reta).

Atualmente o Sistema de Rejeito Desaguado implantado na estrutura necessária com a remoção da umidade da lama vermelha, e disposição desta em área seca, na forma de pilha. Dessa maneira, o Sistema de Rejeito Desaguado é composto pela Planta de Filtragem de Lama, Transporte do Rejeito Desaguado, Pilha de Disposição a Seco e Neutralização do Lixiviado da Pilha.

O desvio do córrego Marzagão encontra-se em fase de regularização, com o intuito de melhorar o escoamento hídrico do córrego e reduzir o volume de

contribuição das nascentes distribuídas ao redor do córrego Marzagão, possibilitando a descaracterização da Barragem do Marzagão, tendo como premissas: manutenção do maciço; eliminação do reservatório através de terraplenagem; e adoção de desvios de drenagem para condução dos aportes de águas superficiais e redução da infiltração no reservatório.



Figura 3 – Foto da Barragem do Marzagão. Fonte: Autor, 2023.

Construída em 1974 para receber rejeitos neutralizados do beneficiamento de bauxita, a Barragem do Marzagão foi executada inicialmente em concreto e passou por cinco fases de alteamento a jusante em material argiloso. Atualmente, a crista da estrutura encontra-se na El. 1.191,00 m, com 58,00 m de altura, 5,00 m de largura e 145,00 m de comprimento. Em dezembro de 2018, iniciou-se o processo de descomissionamento da barragem a partir da interrupção do lançamento dos rejeitos, que passaram a ser empilhados após o início das operações do filtro prensa.

A figura 4 revela a localização das nascentes levantados que geram contribuição hídrica dentro da barragem do Marzagão que se pretende escoar via desvio total.

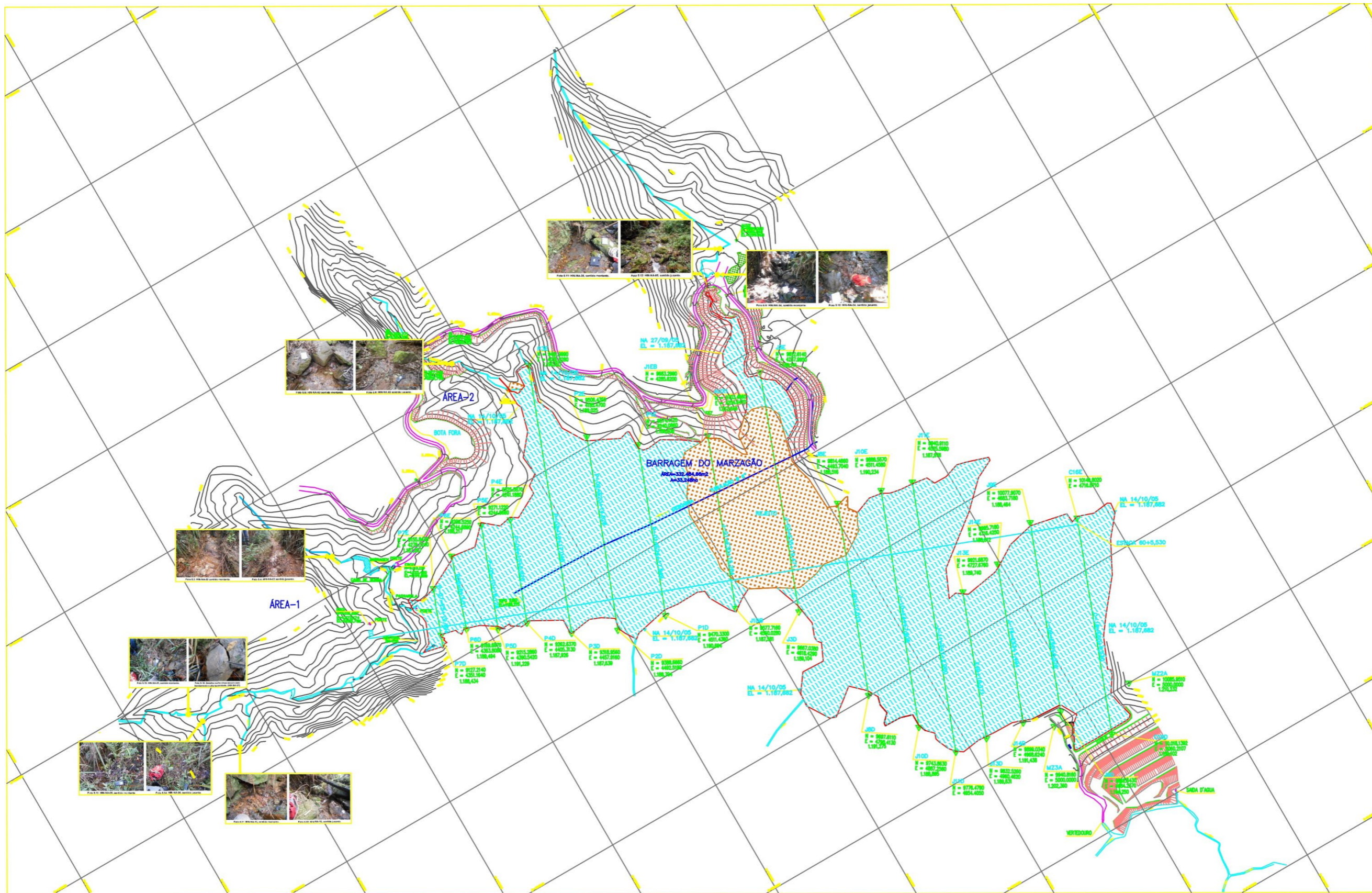


Figura 4 – Foto da Barragem do Marzagão, ao fundo uma das nascentes de contribuição. Fonte: Autor, 2023.

7 JUSTIFICATIVA DA REALIZAÇÃO DA INTERVENÇÃO

A intervenção no córrego Marzagão é premissa fundamental para que o plano de ações de restauração ambiental da área afetada na Barragem do Marzagão tenha sucesso recuperando o potencial de autorregeneração da superfície com segurança hidráulica necessária. A intervenção visa criar um trajeto para o escoamento do curso d'água córrego do Marzagão e seus afluentes esquerdos e direitos que são delimitados pela bacia de contribuição. A figura 5 demonstra o início e fim da intervenção, considerando a melhora no escoamento hídrico das nascentes, a fim de evitar que ocorra alagamento sob a barragem, criando assim um trajeto sustentável e retificador do curso d'água.

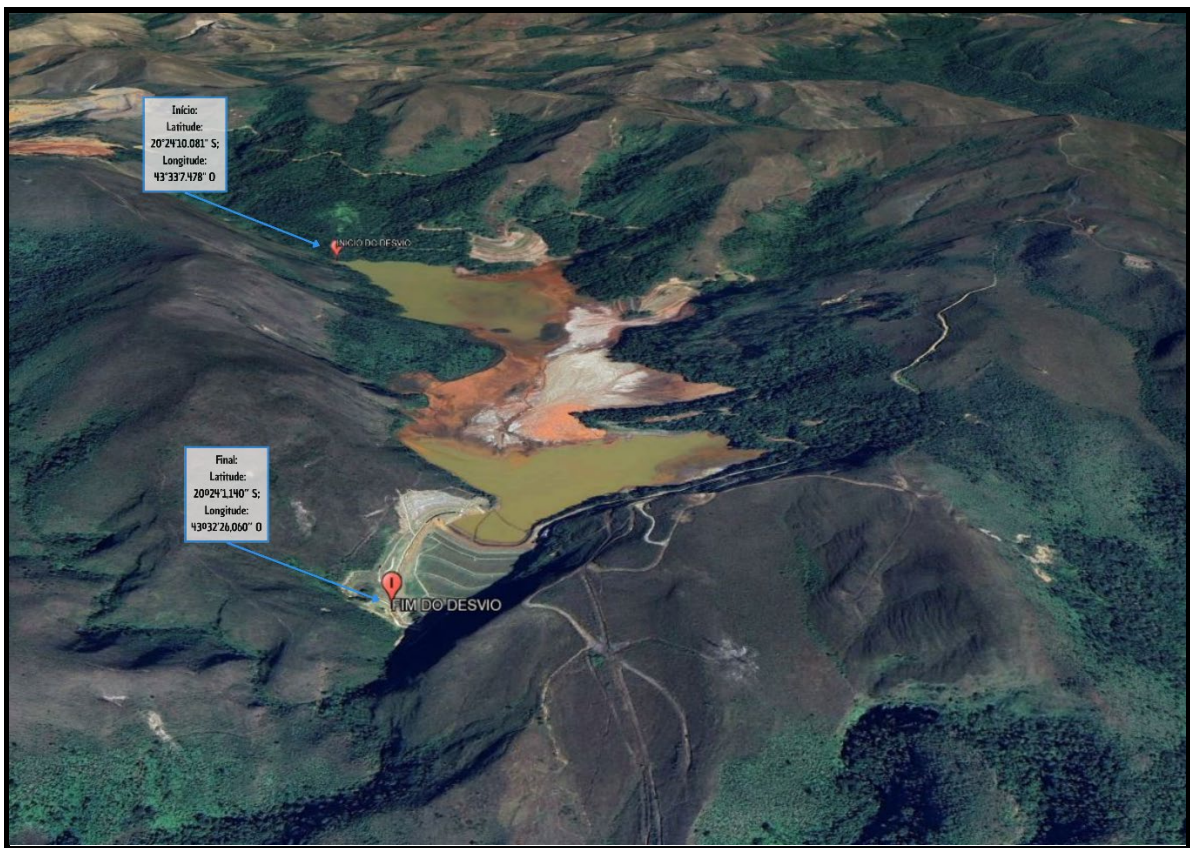


Figura 5 - Foto do início e fim da intervenção no córrego Marzagão. Fonte: Autor, 2023.

Os desvios foram projetados considerando material de revestimento flexível, a fim de agregar viabilidade ambiental e admitir deformações do material base componente dos leitos, sem perder seu aspecto de integridade.

Hidraulicamente, a verificação e adequação dos trechos do sistema extravasor a superfície livre foram feitas com base nos desenhos e relatórios do projeto executivo disponibilizados, presentes ao longo deste relatório técnico.

8 CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DA BACIA E DO CURSO D'ÁGUA

O ponto de intervenção onde será implantado o desvio total do curso d'água, para fins de escoamento hídrico e restauração ambiental, está localizado no córrego do Marzagão, no município de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais.

Ouro Preto está localizada em duas grandes regiões hidrográficas, a região do rio São Francisco e a região do Atlântico Leste, que são separadas pela Serra Geral. Mais precisamente, está localizada nas sub-bacias do rio Paraopeba e das Velhas (que fazem parte da bacia do Alto Rio São Francisco) e nas sub-bacias do rio Piracicaba e do rio Piranga (que fazem parte da Bacia do rio Doce) (Figura 6).

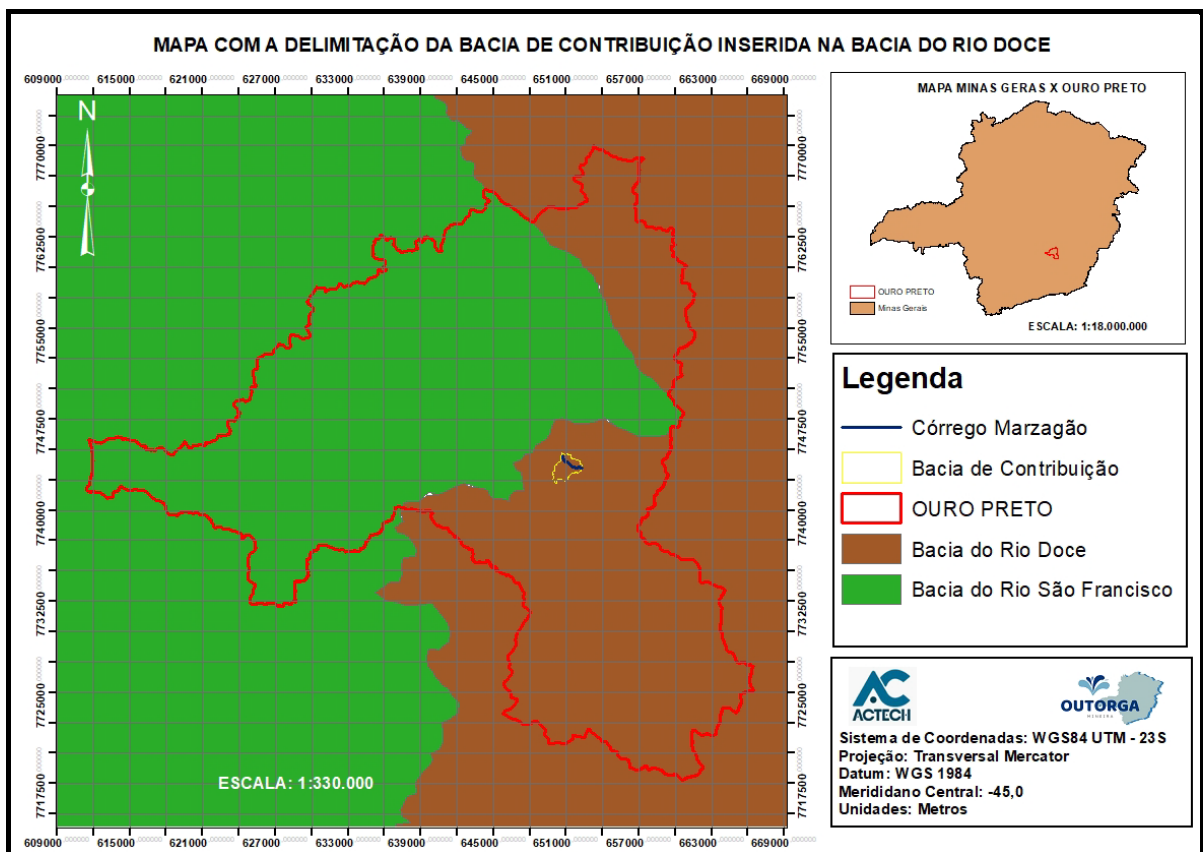


Figura 6 - Localização do município de Ouro Preto nas bacias Hidrográficas.

A Bacia do rio Doce é representada pelos Rios Mainart, Piracicaba, Gualaxo do Norte e Gualaxo do Sul. A sede é banhada pelo ribeirão do Funil, formador do rio do Carmo. Foi no seu afluente, denominado córrego do Tripuí, situado à pequena distância da cidade, que se descobriram os “granitos cor de aço”, responsáveis pelo povoamento, desenvolvimento inicial e pela própria denominação do município (MINAS GERAIS, 1980).

Pode-se dizer que, o córrego do Marzagão, o qual apresenta uma extensão de aproximadamente 2,207 km até à intervenção da nascente, trata-se de um riacho com vale estreito e encaixado, com taludes médios e íngremes, desenvolvendo-se entre as altitudes de 1.352 m, em sua nascente e 1.153 m, final da intervenção, com área de drenagem de 3,374 km². Possui uma diferença de nível de 199 m, o que proporciona uma declividade média de 0,090 m/m desde a sua nascente até o fim da intervenção.

9 COORDENADAS DOS PONTOS DE INÍCIO E FIM DO DESVIO

Início da Intervenção:

- Latitude: 20°24'10.081" S
- Longitude: 43°33'7.478" O;
- Cota: 1.190,0 m.

Fim da Intervenção:

- Latitude: 20°24'1,140" S;
- Longitude: 43°32'26,060" O;
- Cota: 1.153,0 m.

A Figura 7 revela as coordenadas geográficas com início e fim da intervenção, o córrego Marzagão e seu afluente direito sem nome, serão desviados por estrutura com trecho principal de intervenção, de aproximadamente 1.670,0 metros destaque em amarelo. O trecho de intervenção no córrego Marzagão (936,0 m) e em seu afluente direito sem nome (584,0 m) é de aproximadamente 1520,0 metros.

MAPA COM INICIO E FIM DO DESVIO DO CURSO D'ÁGUA - ACTECH - OURO PRETO/MG

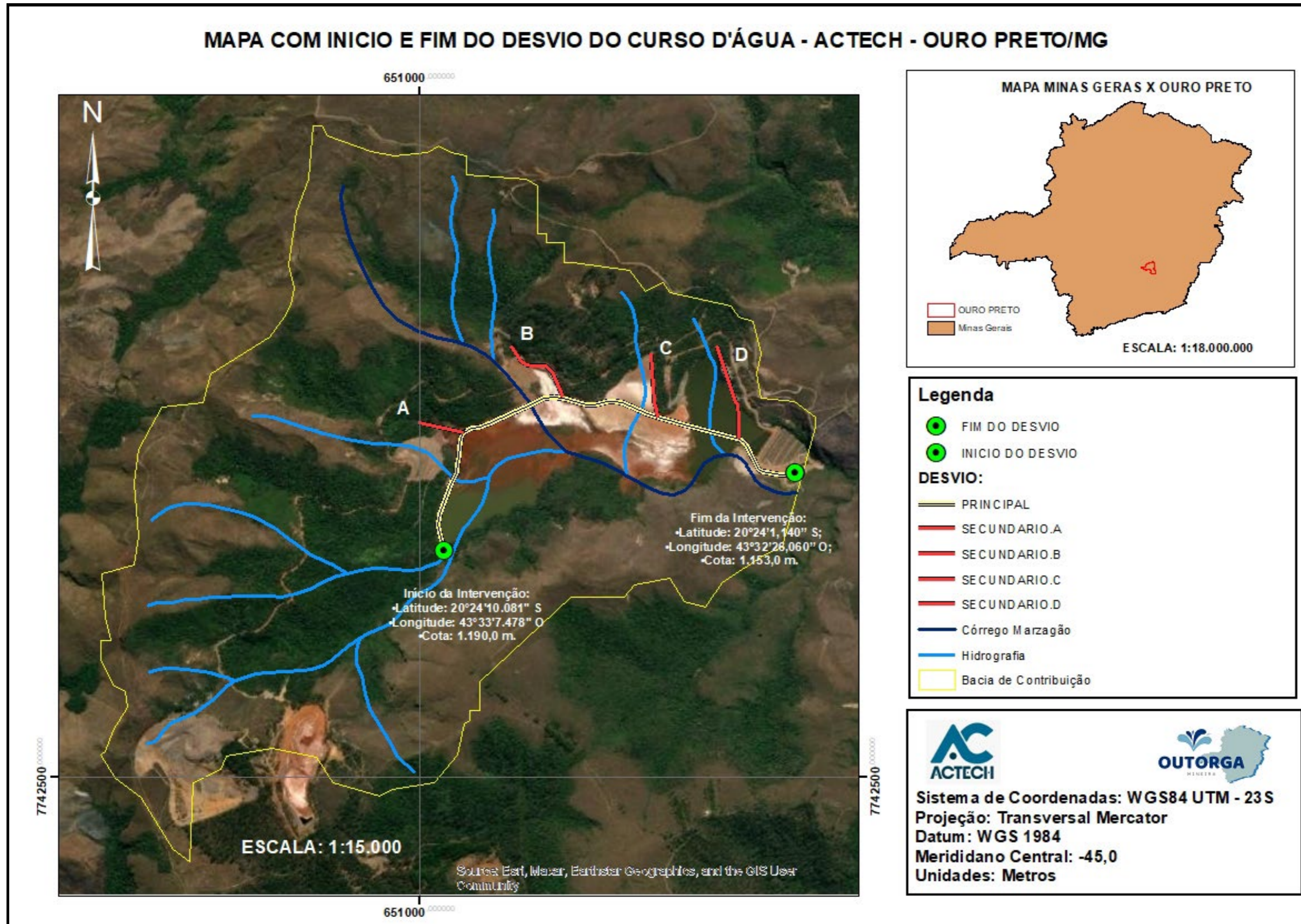


Figura 7 – Início e fim do desvio total do córrego Marzagão. Fonte: Arcmap, 2023.

10 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Conforme art. 31 da Portaria Igam nº 48, de 04 de outubro de 2019, em sua redação trata a classificação dos empreendimentos quanto ao porte e ao potencial poluidor para fins de outorga de direito de uso de recursos hídricos será realizada nos termos da Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH-MG – nº 07, de 4 novembro de 2002. Nos termos do item d) do inciso VII do art. 2º e do inciso VIII da Deliberação Normativa CERH-MG nº 07, de 2002, para desvio total de curso de água, considera-se que a intervenção é de grande porte.

Para os estudos hidrológicos de vazões foram utilizados o Método Racional modificado, a equações de chuvas intensas obtidas por meio do software Pluvio, o tempo de concentração obtido através da equação de Kirpich e a área de drenagem por meio da camada de bacias do IDE SISEMA.

Os dados utilizados para obtenção da vazão máxima de cheia através do Método Racional modificado com o tempo de retorno utilizado de 50 anos.

A bacia hidrográfica como sendo a unidade, onde ocorrem os processos físicos sob a perspectiva de gestão dos recursos hídricos e do planejamento urbano e regional (RIBEIRO et al., 2005). A bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área onde a precipitação é coletada e conduzida para seu sistema de drenagem natural, isto é, uma área composta de um sistema de drenagem natural onde o movimento de água superficial inclui todos os usos da água e do solo existentes na localidade (Magalhães, 1989). Os limites da área que compreende a bacia hidrográfica são definidos topograficamente como os pontos que limitam as vertentes que convergem para uma mesma bacia ou exutório. As bacias hidrográficas caracterizam-se pelas suas características fisiográficas, clima, tipo de solo, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, tipo de ocupação, regime pluviométrico e fluviométrico, e disponibilidade hídrica.

Foi utilizado a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), instituída pela Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 3.147/2022, tem como objetivo promover a adequada organização dos processos de geração, armazenamento, acesso, compartilhamento,

disseminação e uso dos dados geoespaciais oriundos das atividades, programas e projetos ambientais e de recursos hídricos desenvolvidos pelo Sisema.

10.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA

Para determinar as características físicas da área de drenagem a montante no ponto de intervenção pretendida foi utilizada a base de dados digital disponibilizada na Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), em consonância com a Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 3.147/2022, tem como objetivo promover uma organização adequada dos processos de geração, Ambientais, acesso, compartilhamento, disseminação e uso de dados externos, atividades espaciais, armazenamento, programas e recursos hídricos projetos desenvolvidos pelo Sisema e/ou órgãos externos, entidades e instituições.

Com as informações matriciais e vetoriais do modelo manipulados por meio do Software ARCGIS® 10.8.2 foi possível determinar as seguintes características físicas da bacia do córrego do Marzagão: área de drenagem (A), perímetro, comprimento do rio principal (Lp) e total dos cursos d'água (Lt), coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Kf), densidade de drenagem (km.km^{-2}) e declividade média (Imed).

A forma da bacia afeta diretamente o tempo de transformação da precipitação em escoamento, assim o coeficiente de compacidade (kc), que é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia se encontra o valor de 1,363, que caracteriza bacia com tendencia mediana a grandes enchentes.

Com perímetro de 8,944 km e comprimento axial de 2,708 km, a bacia de intervenção, possui um fator de forma (kf) que é a razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto mais longínquo da área) de 0,51 que reforça a caracterização de uma bacia com tendencia mediana a grandes enchentes.

O referido curso d'água é afluente o córrego Tripuí, o qual está inserido na micro-bacia hidrográfica do ribeirão do Funil, que por sua vez é afluente do rio do

Carmo, que pertence à sub-bacia hidrográfica do rio Piranga, o qual insere-se na bacia hidrográfica do rio Doce, pertencente ao Comitê de Bacia Hidrográfica – CBH DO1.

Assim a Bacia de contribuição definida por meio do IDE SISEMA, habilitando as camadas de drenagem da bacia do Rio Doce e suas microbacias de drenagem por trecho de curso d'água, foi possível definir com essa metodologia obter a área da Bacia de contribuição, em azul claro, como sendo um total de 3,374 Km², conforme figura 8.

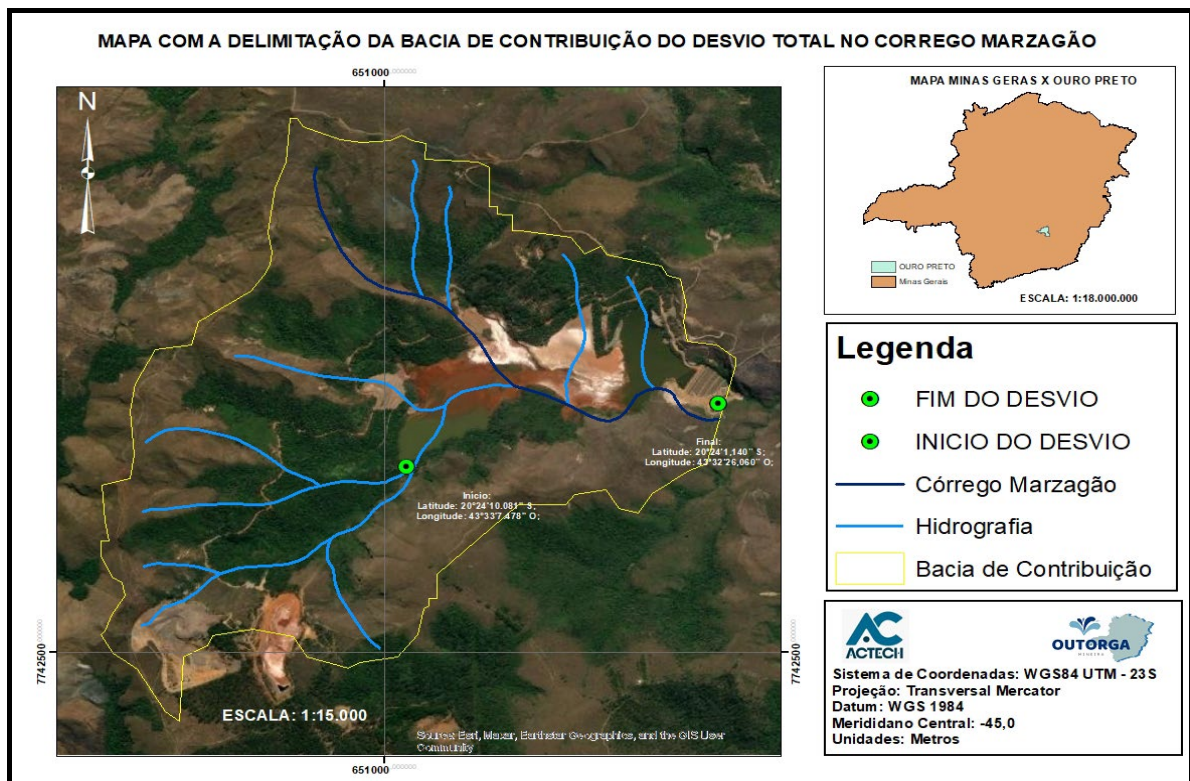


Figura 8 – Bacia de Contribuição destacada em amarelo e linhas de drenagem. Fonte: IDE Sisema.

O comprimento do talvegue foi estimado em 2.817,0 metros, com cota superior de 1373,0 metros e cota inferior de 1.153,0 metros, obtendo um desnível de 220,0 metros. Logo foi possível chegar a uma declividade média de 0,0781 m/m, ou seja, 7,81 %.

10.2 OBTENÇÃO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{7,10}$

A Portaria IGAM nº 48, de 04 de outubro de 2019, estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências, conforme artigos abaixo:

(...) Art. 2º – A vazão de referência a ser utilizada para o cálculo das disponibilidades hídricas superficiais no Estado de Minas Gerais é a vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência – $Q_{7,10}$.

Art. 3º – 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 $Q_{7,10}$. (...)

Para obtenção dos valores de $Q_{7,10}$, têm-se os estudos de regionalização de Souza (1993) para todo o Estado de Minas Gerais. Pode-se também estimar o valor da $Q_{7,10}$ em determinado ponto, a partir de dados estatísticos obtidos com a séries histórica de vazões e ajuste de uma distribuição de probabilidades.

Como referência bibliográfica, para determinação de vazão $Q_{7,10}$, o IGAM recomenda a metodologia de regionalização de vazões mínimas utilizada no trabalho realizado por Souza (1993) para a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA/MG. Nesse estudo de regionalização, que é utilizado pelos técnicos do IGAM, têm-se mapas contendo isolinhas de rendimento específico, em $L \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, para vazões mínimas e máximas, com 10 anos de período de retorno, e média de longo termo para todo o Estado. Neste estudo as Equações 1 e 3 foram propostas para orientar o cálculo das vazões de referência.

$$\text{Equação (1)} \quad Q_m = 0,001 \cdot Rm_e \cdot Ad$$

Onde:

Q_m é a vazão característica em ($m^3 \cdot s^{-1}$) relativa à seção de interesse;

Rm_e é o rendimento característico equivalente na bacia controlada pela seção de interesse, em ($L \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$);

Ad é a área de drenagem em (km²) da bacia hidrográfica controlada pela seção de interesse.

Os rendimentos específicos correspondentes a eventos de variadas durações e recorrências, poderiam ser obtidos a partir dos estados característicos já mapeados, através da simples aplicação de um fator de proporção ou coeficiente multiplicativo, apresentado na Equação 2.

$$\text{Equação (2)} \quad F_{T,D} = (\alpha + \beta \cdot \gamma^D) \cdot (\log T)^{-(r \cdot \log T + S)} \cdot D^{(m+n \cdot \log^2 T)}$$

Em que:

$F_{T,D}$ coeficiente de proporção, relativo ao rendimento extremo de duração D e recorrência T;

Os demais parâmetros são parâmetros relacionados à Tipologia Homogênea da área estudada.

As vazões de referência $Q_{7,10}$, em cada seção dos cursos de água são obtidas através de metodologia que associa o rendimento específico de cada região, a área de drenagem em análise e as características físicas, de solo e meteorológicas das bacias hidrográficas. Assim, a vazão $Q_{7,10}$ pode ser estimada por meio da Equação 3 apresentada a seguir:

$$\text{Equação (3)} \quad Q_{7,10} = F_{10,7} \cdot Q_m$$

A partir da metodologia proposta na obra Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, COPASA (1993), realizou-se a estimativa da Q_{mit} para o local onde encontra-se a captação de água superficial, a qual apresenta área de drenagem igual a 3,374 km² e ocorrerá em uma região que Rendimento específico médio de longo termo igual a 30,0 L.s⁻¹.km⁻², conforme observa-se na Figura 9.

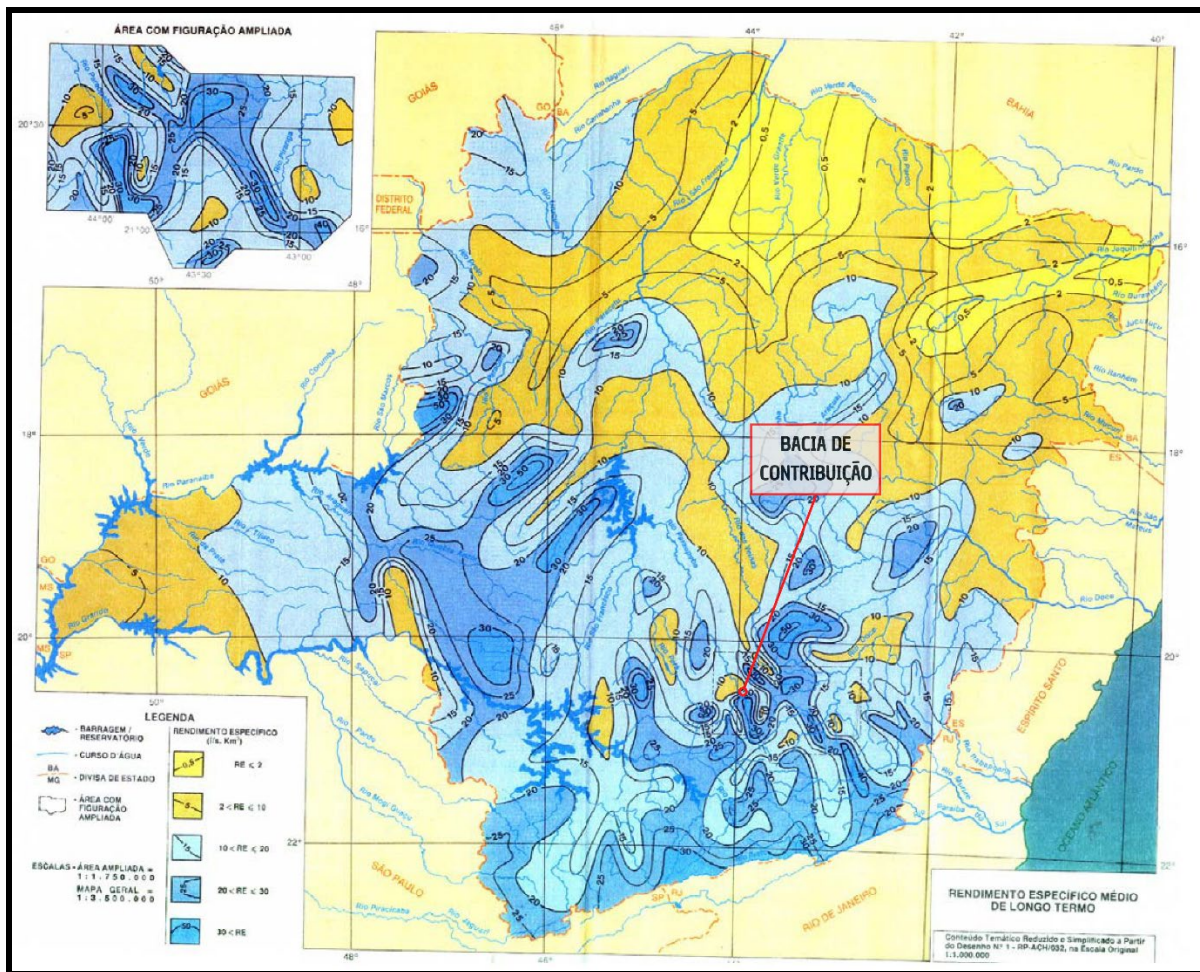


Figura 9 – Mapa do rendimento específico médio de longo termo, destaque para bacia de contribuição em vermelho. Fonte: Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais.

Por meio da utilização da Equação 1, verifica-se que a Q_{mlt} para o local da intervenção é igual a $0,101 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_m = 0,001 \cdot Rm_e \cdot Ad = 0,001 \cdot 30,0 \cdot 3,374 = 0,101 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir da metodologia proposta na obra de Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, COPASA (1993), realizou-se a estimativa da vazão $Q_{7,10}$ para o local onde encontra-se a captação de água superficial, a qual apresenta área de drenagem igual a $3,374 \text{ km}^2$ e ocorrerá em uma região que possui características de tipologia homogênea de código igual a 312, conforme observa-se na Figura 10.

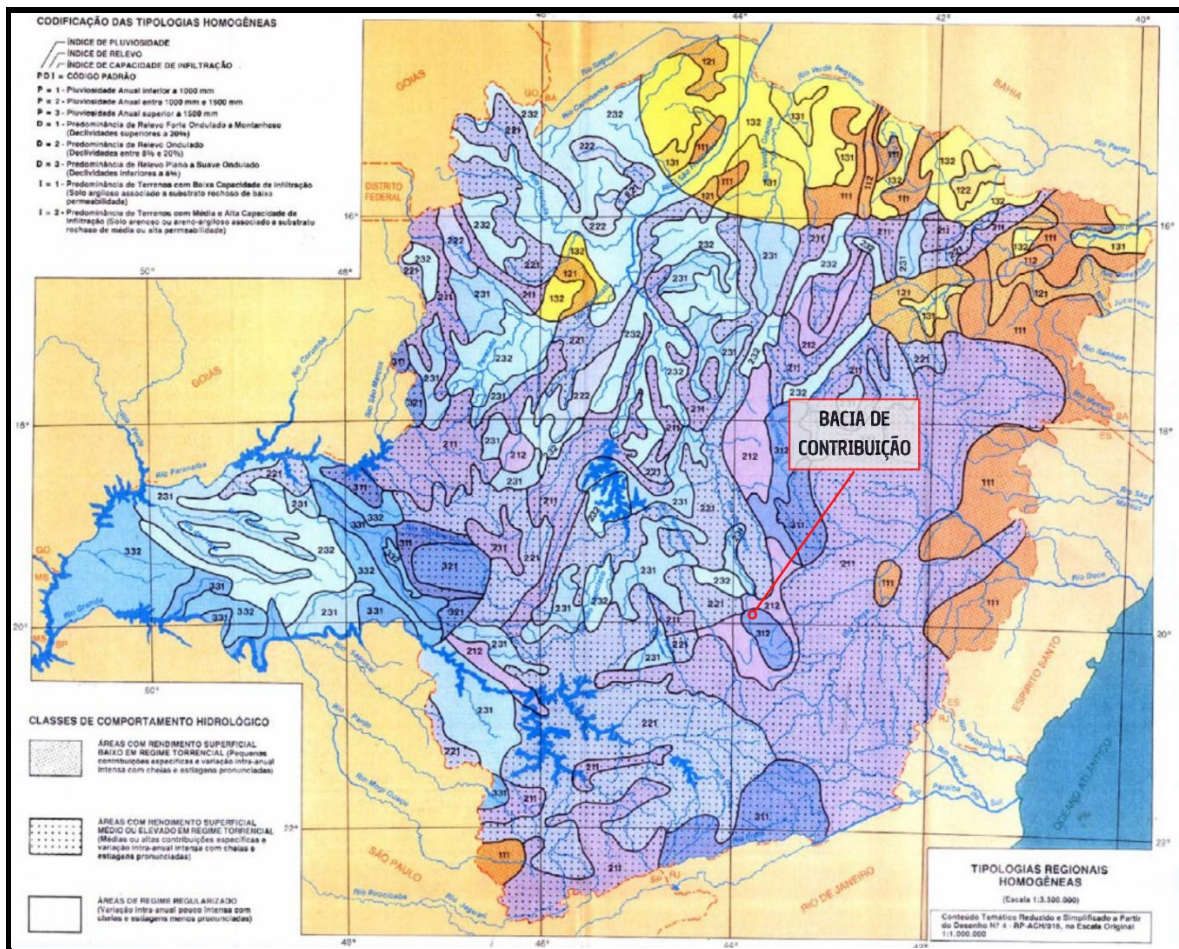


Figura 10 – Mapa de tipologias regionais homogêneas, destaque para bacia de contribuição em vermelho. Fonte: Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais.

O rendimento específico médio mensal para as vazões mínimas com 10 anos de recorrência para o local estudado foi obtido por meio dos dados informados pelo IDE e compilados na figura 11. A figura 11, revela por meio da camada de isolinhas de vazões de deflúvios superficiais da COPASA, o rendimento específico, encontra-se entre 8,20 e 9,20, sendo adotado 8,70 L.s⁻¹.km⁻², ou seja, valor médio compreendido na bacia local.

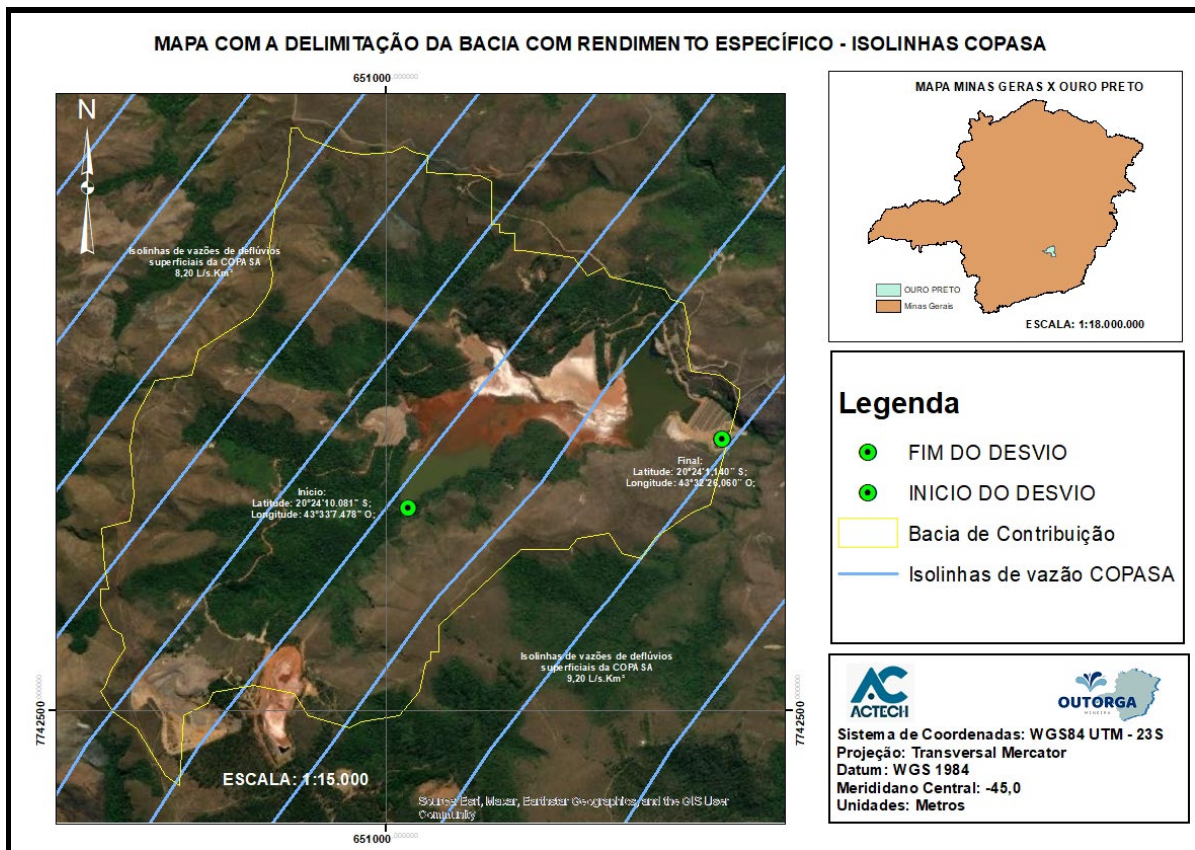


Figura 11 – Rendimento Específico. Fonte: IDE Sisema.

Os parâmetros utilizados para calcular o coeficiente de proporção, relativo ao rendimento extremo de duração igual a 7 dias e recorrência de 10 anos, encontram-se apresentados na tabela 1. A partir destes dados e da Equação 2, obteve-se um valor de $F_{10,7}$ igual a 0,911 para a região de Tipologia Homogênea 312.

Tabela 1 – Parâmetro da função de inferência para rendimentos mínimo para Tipologia Homogênea 312. Fonte: COPASA (1993).

Tipologia Homogênea (código)	Parâmetros						
	α	β	γ	r	s	m	n
312	0,469484	0,424686	1,005587	0,124987	0,130306	-0,035667	-0,057081

A vazão característica para a área de drenagem do córrego do Marzagão foi calculada por meio da Equação 07:

$$Q_m = 0,001 \cdot Rm_e \cdot Ad = 0,001 \cdot 8,70 \cdot 3,374 = 0,0293 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim, retornando à Equação 3 com os valores obtidos, chega-se ao valor de $0,0267 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para a vazão $Q_{7,10}$ no local da captação.

$$Q_{7,10} = F_{10,7} \cdot Q_m = 0,911 \cdot 0,0293 = 0,0267 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$50\%Q_{7,10} = 0,01335 \text{ m}^3/\text{s}$$

10.3 IMPACTOS A JUSANTE E A MONTANTE

A premissa adotada para a quantificação das demandas de terceiros na área de abrangência dos estudos foi a de que as outorgas vigentes são representativas das demandas de maior relevância para a avaliação das disponibilidades hídricas, no contexto do presente trabalho.

É importante destacar que a maior parte dos usos identificados não possuem vazão de captação associada, mas, destaque para uso insignificante processo 60974/2021 de certidão 235693/2021 com captação de 1,0 L/s durante 12,0 horas/dia no córrego Marzagão com a finalidade de aspersão de vias em nome do próprio requerente.

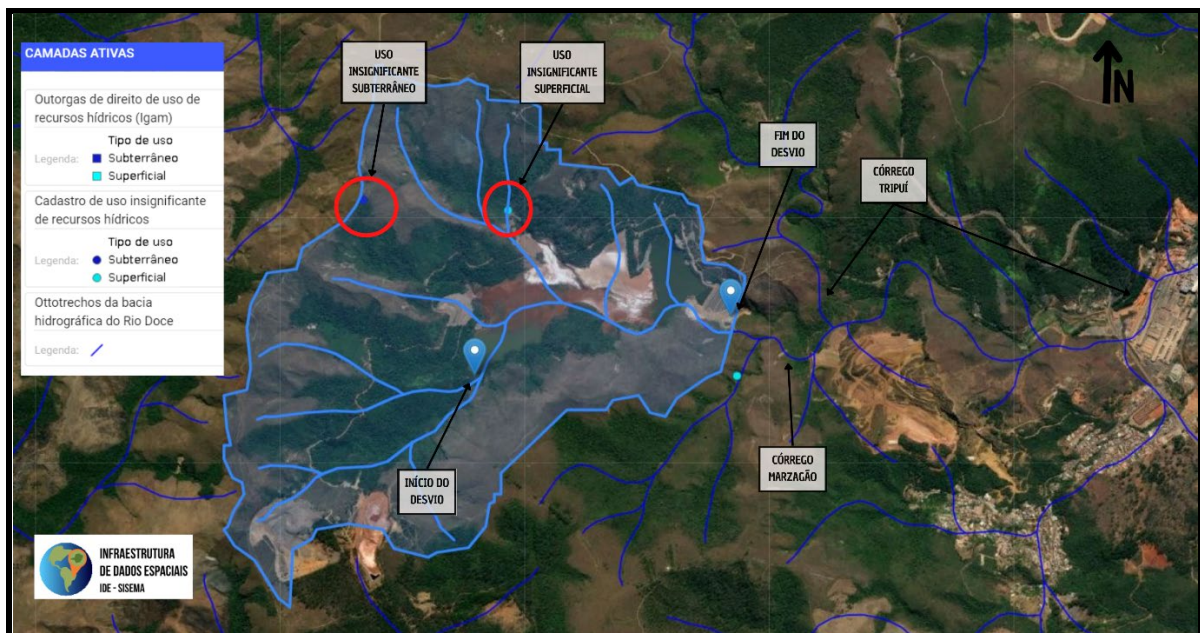


Figura 12 – Resultados obtidos no IDESISEMA com outorgas a jusante e a montante em destaque.

Fonte: IDE SISEMA.

10.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA

Para cálculo da disponibilidade hídrica, ou seja, a vazão do curso de água disponível para atendimento à demanda solicitada há a necessidade de se fazer o balanço hídrico, computando-se as outorgas já emitidas e as vazões já comprometidas em determinada região a ser estudada.

Deverão ser somadas as vazões outorgadas na área de drenagem a montante da seção considerada e consideradas as vazões outorgadas até o ponto de captação imediatamente a jusante do pleito em análise, obtendo-se o resultado da expressão, conforme indicado a seguir:

$$\text{Equação (4)} \quad \sum Q_{\text{montante}} + Q_{\text{solicitada}} + \sum Q_{\text{jusante}} \leq 50\% Q_{7,10}$$

De acordo com o levantamento de dados disponibilizados pelo IGAM no sistema IDESISEMA, apenas um usuário a montante (1,0 L/s) e nenhum a jusante do ponto de intervenção. Dessa forma, o Balanço Hídrico para o córrego do Marzagão no ponto onde será instalado o desvio total do curso d'água é o seguinte, conforme aplicação da Equação 4:

$$0,001 \text{ m}^3/\text{s} + 0,00 \text{ m}^3/\text{s} + 0,00 \text{ m}^3/\text{s} \leq 0,01335 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0,001 \text{ m}^3/\text{s} \leq 0,01335 \text{ m}^3/\text{s}$$

Portanto, observa-se que a disponibilidade hídrica no local da intervenção (0,01235 m³/s) é capaz de atender à demanda hídrica no córrego do Marzagão (0,00 m³/s).

10.5 ESTUDO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO DA BACIA DO RIO DOCE

Seguindo a Portaria IGAM nº 32 de 06 de setembro de 2022 que institui a Q_{7,10}mensal como base de disponibilidade hídrica oficial do IGAM para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce e dá outras providências. Assim a redação da portaria:

“(…)Art. 2º - Os Estudos de Regionalização de Vazão Sazonal deverá estar disponível na Infraestrutura de Dados Espaciais do

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema).

§1º – Para as Circunscrições Hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Doce deverá ser utilizado o estudo de regionalização de vazão mensal desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

§2º - O Estudo de Regionalização de Vazão Mensal estabelecido no §1º deverá ser considerado como fonte oficial para os estudos de disponibilidade e demandas hídricas, regularização dos usos de recursos hídricos, bem como outros produtos, dados espaciais e sistemas elaborados e/ou consumidos pelo IGAM, referentes à gestão de recursos hídricos.

§3º - Todos os sistemas em desenvolvimento no Igam, que utilizem dados de disponibilidade hídrica superficial, deverão utilizar o estudo de regionalização de vazão mensal estabelecido no §1º, por meio do geoserver/ IDE SISEMA. (...)"

Para o ponto em questão chega-se aos valores mensais conforme tabela 1.

Tabela 2 – Valores do Estudo de Regionalização da bacia do Rio Doce 2022 Ottotrechos. Fonte: IDE.

Q₇₁₀	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
m³/s	0,0432	0,0452	0,0483	0,0443	0,0401	0,0360	0,0348	0,0331	0,0319	0,0306	0,0371	0,046	0,02943
50%	0,0216	0,0226	0,0241	0,0221	0,0200	0,0180	0,0174	0,0165	0,0159	0,0153	0,0185	0,023	0,014715

Em atendimento a Portaria IGAM nº 32/2022, os valores obtidos na vazão de referência no item 9.2 (0,0267 m³.s⁻¹) são compatíveis com a tabela 2, portando justificam o resultado.

11 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO VIA MÉTODO DIRETO

Em virtude de a área de contribuição ser maior do que 1,0 km², a utilização do Método Racional para a obtenção da vazão máxima torna-se inviável, pois superdimensiona as cheias de projeto. Desta maneira, optou-se pela obtenção dos

hidrogramas de projeto por meio do método do hidrograma unitário utilizando o software HEC-HMS, versão 4.7.1, distribuído pelo USACE (2020). Este aplicativo calcula hietogramas de cheia por meio de diversos métodos de síntese do hidrograma unitário, com metodologias variadas de determinação de chuva efetiva.

A seguir, é descrita, sucintamente, a sequência metodológica aplicada.

- Hietogramas de Chuva Total: a geração dos hietogramas de chuva total (gráfico da precipitação total versus duração) é obtida por meio da distribuição temporal dos blocos de precipitação. A metodologia empregada para discretização das alturas de chuva é apresentada por Huff (1967).

- Hietogramas de Chuva Efetiva: para a obtenção da precipitação efetiva utilizou-se o Método SCS (Soil Conservation Service). Este método considera parâmetros como o CN (número da curva) e as abstrações iniciais, os quais dependem da condição atual de uso e ocupação do solo nos terrenos das bacias de contribuição, pois avaliam o potencial de infiltração do solo. Essa metodologia encontra-se incorporada ao software HEC-HMS.



- Transformação Chuva-Vazão: para obtenção dos hidrogramas de escoamento superficial utiliza-se o método do Hidrograma Unitário Triangular Sintético, no qual é realizado por meio da convolução dos hietogramas de chuva efetiva proposta pelo SCS. Salienta-se que a metodologia em epígrafe se encontra incorporada ao HEC-HMS, de forma que este aplicativo foi também utilizado para a transformação chuva-vazão.

- Amortecimento de Cheias: para a simulação do trânsito das cheias pelo reservatório utilizou-se o Método de Puls Modificado, modelo hidrológico de propagação, o qual simula o escoamento no reservatório por meio da discretização em diferenças finitas da equação do balanço hídrico. Esse método emprega a relação entre armazenamento e vazão efluente, aplicando as características da curva de descarga do extravasor (vertedouro) e da curva cota- volume do reservatório. O método utilizado se encontra incorporado ao modelo HEC-HMS, de forma que este aplicativo foi novamente utilizado, desta vez, para a simulação do trânsito das cheias pelo reservatório.

- Determinação de chuva, cheia e vazão críticas: considerou-se como chuva crítica aquela associada ao período de retorno de projeto cuja duração gerasse

a maior vazão afluente na bacia hidrográfica. A duração deste evento foi denominada duração crítica. A cheia de projeto foi, portanto, aquela gerada pelo trânsito dos hidrogramas de cheia ao longo das sub-bacias de cada canal de drenagem.

Na figura 13 é apresentada a esquematização topológica inserida no *software* HEC-HMS para o cálculo das vazões de projeto. Especificamente, foram dois elementos considerados na modelagem hidrológica da Barragem do Marzagão:

- Sub-bacias, representadas pelo símbolo (), que representam unidades fisiográficas com características morfológicas distintas. Para cada trecho de canal distinto, há uma sub-bacia associada.
- Junções, representadas pelo símbolo (), que unem as sub-bacias e, na transformação chuva-vazão, transitam o hidrograma sequencialmente de montante para jusante.

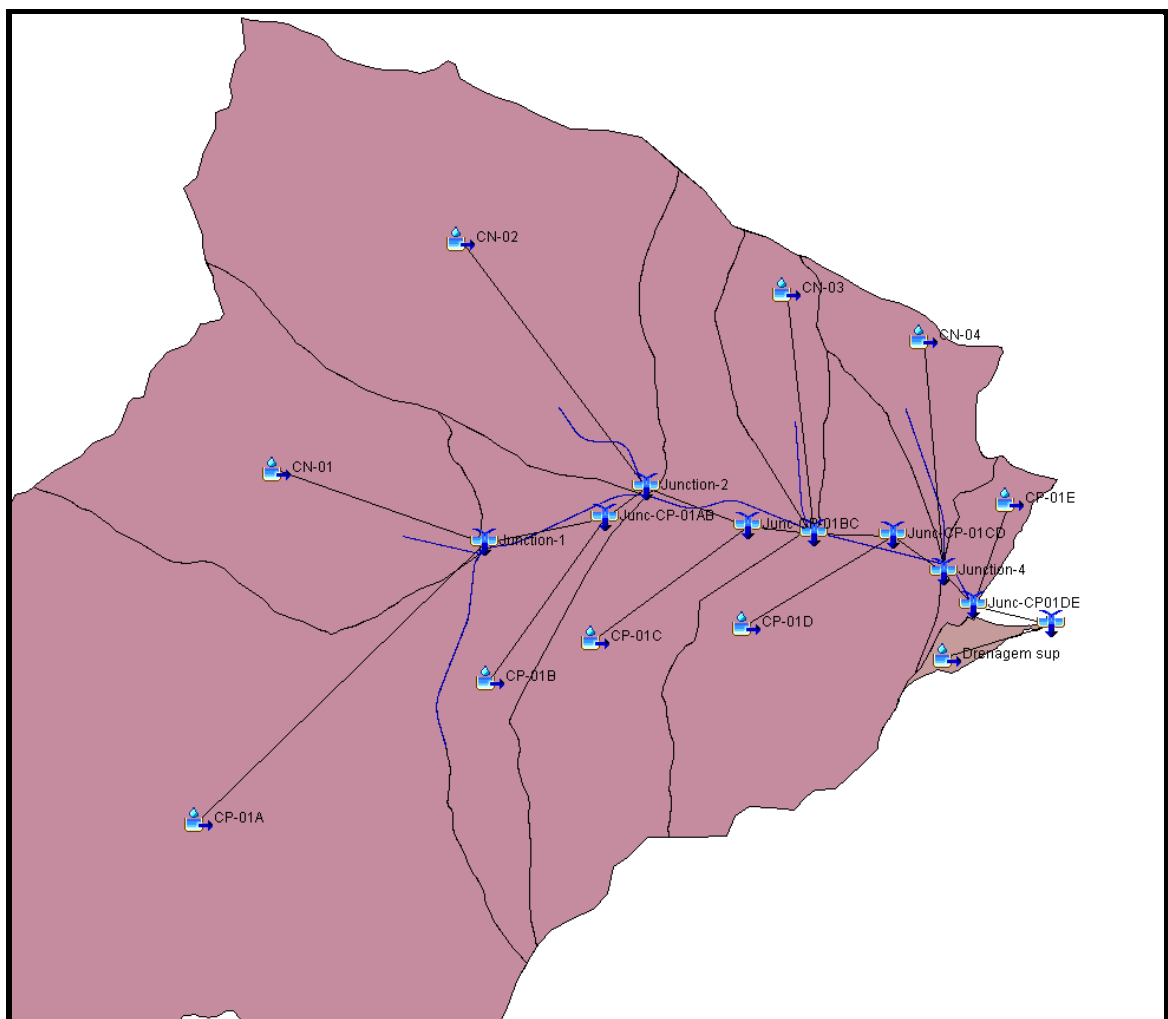


Figura 13 – Diagrama topológico inserido no *software* HEC-HMS.

11.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO

A delimitação da bacia de contribuição da barragem em análise, bem como a definição de suas características morfológicas, foram obtidas através do mais recente levantamento topográfico da Barragem do Marzagão (ERG Engenharia, 2020, 2090-A- MN-SD-20-001) e da transformação e planimetragem da carta topográfica de Ouro Preto (IBGE, 1985).

A figura 14 apresenta as áreas de drenagem para cada um dos canais de drenagem propostos para a descaracterização da Barragem do Marzagão. Como evidenciado, cada trecho destes canais contempla uma sub-bacia hidrográfica diferente.

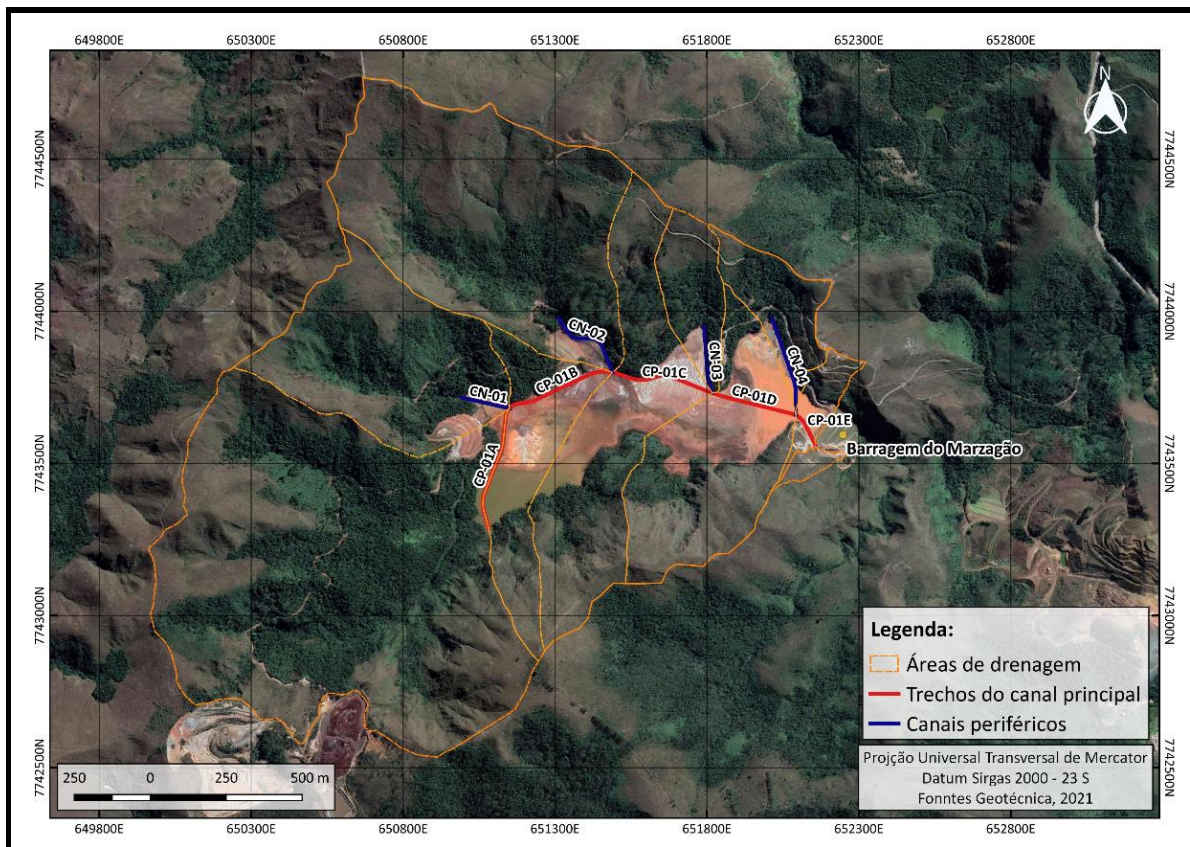


Figura 14 – Sub-bacias contempladas para o projeto de descaracterização da Barragem do Marzagão.

A metodologia para a definição dos parâmetros de caracterização hidrogeomorfológica foi adotada conforme seguem os itens a seguir:

11.1.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração pode ser definido como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante, em percurso hidráulico, da bacia até seu exutório (McCUEN *et al.*, 1984). Outra definição pode ser feita denotando o tempo decorrido entre o fim da chuva (tempo em que caíram as últimas gotas sobre todos os pontos da bacia, incluindo o ponto mais distante) e o fim do escoamento superficial detectado no hidrograma (SILVEIRA, 2005).

O tempo de concentração decorre da composição do escoamento difuso, em superfícies onde não existem talwegues definidos; e do escoamento em canais naturais ou artificiais. Pela bacia hidrográfica da Barragem do Marzagão encontraram-se em áreas rurais, utilizou-se, nos trechos de canais naturais retratados na figura 8, a média entre as fórmulas de Kirpich (1940) e Williams (1922), como descritas pela Equação 5 e pela Equação 6, respectivamente.

$$\text{Equação (5) } t_c = 0,39 \left(\frac{L^2}{S_e} \right)^{0,385}$$

$$\text{Equação (6) } t_c = \frac{0,61 \times L}{A^{0,11} \times S_e^{0,20}}$$

Nas quais:

t_c : tempo de concentração, em horas;

L: comprimento axial, em km;

S_e : declividade média percentual;

A: Área de Drenagem da Bacia hidrográfica, em km²;

Este refinamento no tempo de concentração se deu devido às equações incorporarem, no cálculo da resposta das bacias hidrográficas, diferentes incógnitas que as caracterizam, assim como diferentes pesos para estas incógnitas, proporcionando valores mais realísticos de tempo de concentração. Adicionalmente, a média aritmética dos dois métodos fornece magnitudes coerentes de velocidade para escoamentos em trechos naturais, estimada em torno de 1 m/s.

Nos trechos em canais prismáticos, com talvegues canalizados, utilizou-se o método cinemático proposto pelo NRCS (2010), baseado na velocidade de escoamento em canais. Este método se traduz na definição de uma estimativa de velocidade de propagação do escoamento ao longo do talvegue principal de cada uma das sub-bacias. Esta estimativa é dada em função do comprimento, da declividade do talvegue principal e do uso e tipologia do solo, conforme o ábaco contemplado na figura 15.

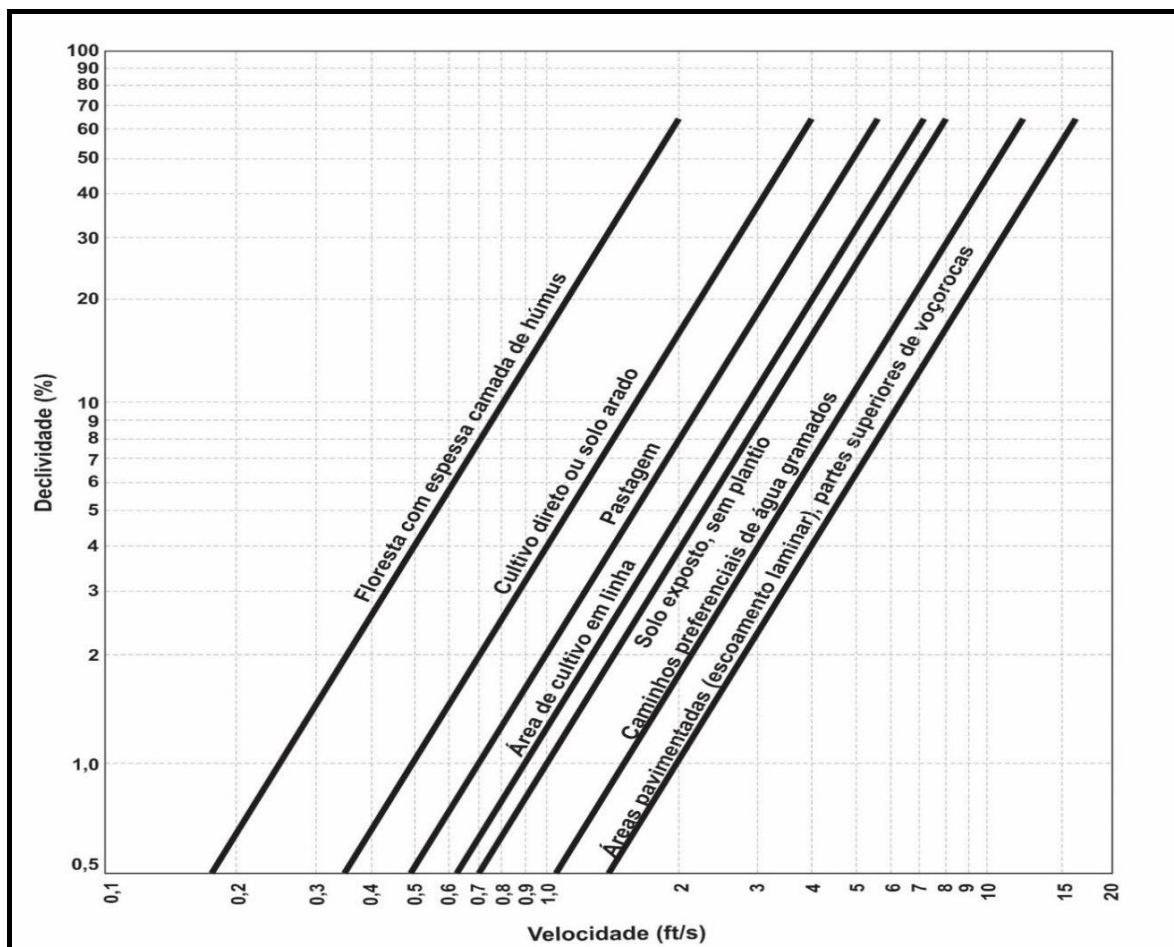


Figura 15 – Ábaco para a definição da velocidade no método cinemático para o cálculo do tempo de concentração (Fonte: Pinheiro, 2011).

Com base nesta estimativa de velocidade, utiliza-se a Equação 7 para o cálculo do tempo de concentração em cada um dos trechos definidos.

$$\text{Equação (7)} \quad t_c = \sum \frac{L_i}{v_i}$$

Na qual:

t_c : denota o tempo de concentração, em segundos;

L: denota o comprimento de cada trecho, em m;

V: denota a velocidade média em cada trecho, em m/s.

Para o cálculo da velocidade média, utilizou-se a fórmula de Manning, tal qual apresenta a Equação 8. Segundo recomendação de Pinheiro (2011), considerou-se os canais de drenagem escoando à seção plena.

$$\text{Equação (8)} \quad v = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S_o^{\frac{1}{2}}$$

Na qual:

v: denota a velocidade média em cada trecho, em m/s;

n: denota o coeficiente de Manning, retratado no item 11.2.2;

R_h : denota o raio hidráulico do dispositivo de drenagem, em m;

S: denota a declividade de fundo do dispositivo de drenagem, em m/m.

O tempo de concentração é utilizado para a estimativa do *lagtime*, referido como tempo de retardo e calculado como 60% da magnitude do tempo de concentração. O *lagtime* representa o intervalo de tempo existente entre o centro de massa de um hietograma e a vazão de pico do hidrograma correspondente.

A Tabela 3 denota os tempos de concentração e retardo para cada uma das sub-bacias representadas na Figura 14.

Tabela 3 – Tempos de concentração e de retardo considerado para as sub-bacias dos canais de drenagem para a descaracterização da Barragem do Marzagão.

CANAL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (MIN)	LAGTIME (MIN)
CP-01A	19,62	11,77
CN-01	9,39	5,63
CP-01B	16,64	9,98
CN-02	15,70	9,42
CP-01C	15,62	9,37
CN-03	7,68	4,61
CP-01D	12,74	7,64
CN-04	6,91	4,15
CP-01E	5,53	3,32

11.1.2 USO E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

O mapa de solos do estado de Minas Gerais (UFV; CEFET-MG; UFL; FEAM, 2010) identifica o solo da bacia hidrográfica da Barragem do Marzagão como cambissolo háplico, unidade CXbd29. Esta codificação se dá para a seguinte combinação:

- CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (50%);
- LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado/forte ondulado (40%);
- ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (10%).

A classificação dos solos é importante para a definição dos grupos hidrológicos, que agregam perfis de solo com características semelhantes em quatro classificações, de A a D, dependendo da espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão dos solos.

Sartori (2010), em sua classificação hidrológica de solos brasileiros, classifica os cambissolos háplicos Tb distróficos típicos no grupo D; e os latossolos vermelho-

amarelos distróficos típicos no grupo B. Como aproximação dos dois grupos, tendo em vista sua proporcionalidade, adotou-se, no presente estudo, o grupo hidrológico C.

Ademais, os estudos geológico-geotécnicos (Fonntes, 2021, FG-2157-HIN-BA-MD01) denotam a área da Barragem do Marzagão com predominância de filita-xisto e clorita-xisto (mais predominantes na ombreira direita) e metagrauvaca (mais predominante na ombreira esquerda). O arranjo estratigráfico destes minerais compreende camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, contemplando, comprovadamente, o grupo hidrológico C.

A Figura 16 apresenta o mapa de uso e classificação para a bacia da Barragem do Marzagão.

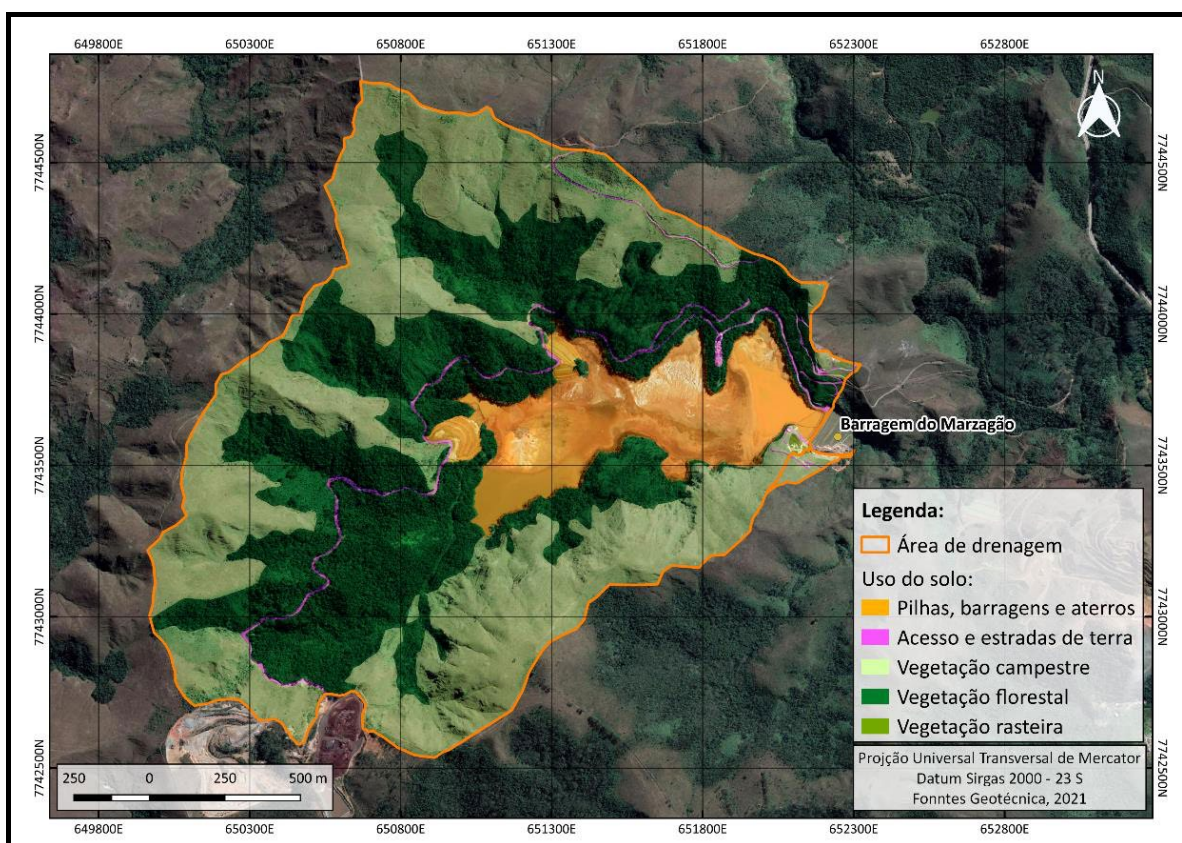


Figura 16 – Mapa de uso e classificação do solo para a descaracterização da Barragem do Marzagão.

Visto o exposto, obteve-se o número da curva índice de escoamento superficial CN, inserido no método do SCS (1957) para a geração dos hietogramas efetivos a partir dos totais. O CN é dependente do uso e ocupação do solo na área

da bacia, da capacidade de infiltração do solo e da condição de umidade antecedente, aqui considerada como II, correspondente à umidade da capacidade de campo. A Tabela 4 retrata os valores de CN utilizados no presente estudo.

Tabela 4 – – Valores de CN para a bacia hidrográfica da Barragem do Marzagão. (Fonte: Chow; Maidment; Mays, 1988; Valores dos afloramentos rochosos e das pilhas estimados pela equipe técnica da Potamos).

TIPOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	VALORES DE CN			
	GRUPO HIDROLÓGICO			
	A	B	C	D
1. Florestas com boa cobertura vegetal	25	55	70	77
2. Vegetação campestre	39	61	74	80
3. Acessos e estradas de terra	72	82	87	89
4. Áreas industriais	72	82	87	89
5. Vegetação rasteira – Talude de corte do vertedouro revestido	39	61	74	80
6. Pilhas com cobertura vegetal ² – Reservatório aterrado e impermeabilizado	39	61	74	80

² Entende-se que o reservatório, assim como o que hoje se configuram as Pilhas 1 e 2, seja completamente coberto por um material impermeabilizante, de tal modo que o grupo hidrológico D possa ser contemplado, protegido por uma camada superficial propícia a desenvolvimento vegetal.

A Tabela 5 indica as áreas de drenagem incrementais e o CN ponderado, calculado para cada uma das nove sub-bacias presentes no reservatório da Barragem de Marzagão, a partir dos valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 5 –Cálculo do CN para as sub-bacias da Barragem do Marzagão.

SUB-BACIA	ÁREAS DE DRENAGEM INCREMENTAIS (KM ²)								CN
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6	TIPO 7	TOTAL	
CP-01A	0,53	0,53	0,02	-	-	0,01	0,01	1,10	72,24
CN-01	0,20	0,12	0,01	-	-	0,01	0,01	0,35	72,14
CP-01B	0,04	0,05	0,001	-	-	0,09	0,004	0,18	76,31
CN-02	0,23	0,34	0,01	-	-	0,01	0,01	0,60	72,74
CP-01C	0,11	0,12	0,003	-	-	0,11	-	0,35	74,63
CN-03	0,05	0,03	0,005	-	-	0,01	-	0,09	73,04
CP-01D	0,05	0,13	0,004	0,00004	-	0,12	-	0,30	75,82
CN-04	0,06	0,02	0,01	-	-	0,01	-	0,09	72,75
CP-01E	0,01	0,01	0,005	0,00004	0,00	0,01	-	0,04	75,83

Baseado no CN ponderado, obteve-se, incrementalmente, a magnitude das abstrações iniciais, que representa aproximadamente 20% da capacidade máxima de infiltração da água no solo. Corresponde, portanto, à precipitação antecedente ao escoamento superficial, sendo descrita pela Equação 9.

$$\text{Equação (9)} \quad I_a = 0,2 \times \left(\frac{25.400}{CN} - 254 \right)$$

11.1.3 CHUVAS INTENSAS

A bacia hidrográfica da Barragem do Marzagão está localizada em uma região limítrofe às isozonas C e D, que conferem tipificações distintas de influências marítimas e continentais no comportamento de chuvas intensas. Adicionalmente, a bacia situa-se a oeste da Serra do Caraça, trecho da Serra do Espinhaço que apresenta características climáticas e orográficas específicas e que pode superdimensionar a ocorrência de chuvas orográficas e a precipitação máxima anual (PMA) de regiões próximas.

Visto o exposto, as minas no estudo de Pinheiro (2011), atualizado por Potamos (2020), que mais se consideram representativas da bacia da Barragem do Marzagão são as Minas de Fábrica e do Retiro, que apresentam PMA de 1.600 mm e se situam na isozona D. Os quantis de chuva são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Quantis de altura pluviométrica representativos para a Barragem do Marzagão (Fonte: Potamos, 2020).

ALTURA PLUVIOMÉTRICA PARA AS MINAS DE FÁBRICA E DO RETIRO (MM)											
Duração		Tempo de retorno (anos)									
		2	5	10	20	25	50	100	500	1.000	10.000
Minutos	10	17,4	22,0	25,0	27,9	28,8	31,5	32,4	38,1	40,6	48,5
	15	22,7	28,7	32,5	36,1	37,3	40,7	42,7	50,1	53,2	63,2
	20	26,5	33,4	37,8	42,0	43,3	47,3	50,0	58,6	62,1	73,6
	30	31,8	40,0	45,3	50,2	51,8	56,5	60,4	70,6	74,7	88,2
	60	40,8	51,3	58,0	64,3	66,3	72,3	78,0	91,0	96,2	113,3
h	2	52,9	66,8	75,8	84,3	87,0	95,2	103,2	121,5	129,1	154,0
	3	59,9	75,8	86,2	96,0	99,2	108,7	118,0	139,3	148,3	177,8
	4	64,9	82,2	93,6	104,3	107,8	118,2	128,5	152,0	161,9	194,7

6	72,0	91,3	104,0	116,0	119,9	131,6	143,2	169,8	181,1	218,5
8	77,0	97,7	111,3	124,4	128,5	141,2	153,7	182,5	194,7	235,4
10	80,9	102,7	117,1	130,8	135,2	148,5	161,8	192,3	205,3	248,5
12	84,0	106,7	121,7	136,1	140,6	154,6	168,4	200,3	214,0	259,2
18	91,1	115,8	132,1	147,8	152,7	168,0	183,2	218,2	233,2	283,0
24	96,1	122,2	139,5	156,1	161,3	177,5	193,6	230,8	246,8	299,9

De posse dos valores apresentados na Tabela 6, foi elaborada a Tabela 7 com a relação de intensidade, duração e frequência (IDF) para as chuvas com diversos períodos de retorno e durações.

Tabela 7 – Relação intensidade, duração e frequência para a Barragem do Marzagão (Fonte: Potamos, 2020).

ALTURA PLUVIOMÉTRICA PARA AS MINAS DE FÁBRICA E DO RETIRO (MM)											
Duração		Tempo de retorno (anos)									
		2	5	10	20	25	50	100	500	1.000	10.000
Minutos	10	104,6	132,2	150,2	167,2	172,6	189,0	194,3	209,3	243,3	290,9
	15	90,9	114,7	130,0	144,5	149,1	162,9	170,8	183,8	212,6	252,6
	20	79,4	100,1	113,4	125,9	129,9	141,8	150,1	161,3	186,3	220,7
	30	63,6	80,0	90,5	100,4	103,6	113,0	120,7	129,7	149,4	176,5
	60	40,8	51,3	58,0	64,3	66,3	72,3	78,0	83,7	96,2	113,3
Horas	2	26,4	33,4	37,9	42,2	43,5	47,6	51,6	55,6	64,5	77,0
	3	20,0	25,3	28,7	32,0	33,1	36,2	39,3	42,4	49,4	59,3
	4	16,2	20,6	23,4	26,1	26,9	29,5	32,1	34,7	40,5	48,7
	6	12,0	15,2	17,3	19,3	20,0	21,9	23,9	25,8	30,2	36,4
	8	9,6	12,2	13,9	15,5	16,1	17,6	19,2	20,8	24,3	29,4
	10	8,1	10,3	11,7	13,1	13,5	14,9	16,2	17,5	20,5	24,8
	12	7,0	8,9	10,1	11,3	11,7	12,9	14,0	15,2	17,8	21,6
	18	5,1	6,4	7,3	8,2	8,5	9,3	10,2	11,0	13,0	15,7
	24	4,0	5,1	5,8	6,5	6,7	7,4	8,1	8,7	10,3	12,5

11.1.4 ANÁLISE DO RISCO E DEFINIÇÃO DO PERÍODO DE RETORNO (TR)

O risco hidrológico associado a uma dada estrutura hidráulica representa a probabilidade de sua vazão de projeto ser igualada ou excedida pelo menos uma

vez durante toda a sua vida útil. Dessa forma, a análise de risco consiste numa ferramenta amplamente empregada no dimensionamento e projeto de estruturas hidráulicas.

A Equação 10 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.

$$\text{Equação (10)} \quad RH = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n$$

Na qual:

RH: é o risco hidrológico percentual;

TR: é o tempo de retorno, em anos;

n: é a vida útil da estrutura, em anos.

O risco por falha hidráulica devido à ocorrência de evento hidrológico, em função de seu tempo de retorno (TR) e o tempo de vida útil da estrutura, é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Risco hidrológico (%) em função do tempo de retorno (TR) e da vida da estrutura hidráulica.

TR (ANOS)	VIDA ÚTIL (ANOS)											
	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	50,0	75,0	96,9	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
5	20,0	36,0	67,2	89,3	96,5	98,8	99,6	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0
10	10,0	19,0	41,0	65,1	79,4	87,8	92,8	95,8	97,5	98,5	99,1	99,5
25	4,0	7,8	18,5	33,5	45,8	55,8	64,0	70,6	76,0	80,5	84,1	87,0
50	2,0	4,0	9,6	18,3	26,1	33,2	39,7	45,5	50,7	55,4	59,7	63,6
100	1,0	2,0	4,9	9,6	14,0	18,2	22,2	26,0	29,7	33,1	36,4	39,5
500	0,2	0,4	1,0	2,0	3,0	3,9	4,9	5,8	6,8	7,7	8,6	9,5
1.000	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,4	3,9	4,4	4,9
10.000	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5

Em virtude da inexistência de normatização específica ou de legislação diretamente aplicável a projetos de descaracterização de barragens de mineração,

utilizou-se a recomendação de FEAM (2020) para projetos de descaracterização para barragens alteadas a montante com declaração de condição de estabilidade garantida, cuja adoção do tempo de retorno em estruturas de drenagem superficial deve ser igual ou superior a 500 anos. Adicionalmente, a NBR 13029, para projetos de elaboração de pilhas (ABNT, 2017), preconiza a adoção do tempo de retorno mínimo de 500 anos para canais periféricos definitivos de coleta e condução de águas superficiais. Assim, o dimensionamento hidráulico dos canais, cuja metodologia é detalhada no item 11.2.2, considerará o tempo de retorno de 500 anos.

11.2 CONDICIONANTES HIDRÁULICAS

O dimensionamento hidráulico de estruturas de condução de drenagem é realizado conforme os materiais e equipamentos disponíveis para as suas construções, mediante condições geológicas, topográficas e ambientais do local de implantação.

11.2.1 ESCOLHA DO REVESTIMENTO

Para os canais de drenagem no projeto de descaracterização da Barragem do Marzagão, a determinação do revestimento foi realizada pela escolha do material que alcançasse apresentasse maior vantagens com base na viabilidade executiva, facilidade construtiva, necessidade de manutenções, garantia da estabilidade dos canais, absorção de recalques e integração ao meio ambiente.

Em função destes quesitos, elaborou-se a Tabela 9, que elenca, comparativamente, vantagens e desvantagens para diferentes tipos de revestimentos de canais avaliados.

Tabela 9 – Matriz de vantagens e desvantagens de revestimentos para os canais da Barragem do Marzagão.

REVESTIMENTO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Gramma	<ul style="list-style-type: none"> • Facilita a infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial após a recuperação ambiental completa; • Melhor inserção ambiental e social com aspecto de canal natural. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo para assegurar a sobrevivência e o efeito da vegetação implantada (autorrecuperação ambiental); • Necessidade de manutenção constante;
Biomanta	<ul style="list-style-type: none"> • Facilita a infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial após a recuperação ambiental completa; • Após a sua decomposição, as fibras transformam-se em uma camada de material fértil, favorecendo o crescimento de vegetação; • Melhor inserção ambiental e social com aspecto de canal natural; • Fácil implantação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixas velocidades de escoamento admissíveis ($\approx 2,0$ m/s); • Necessidade de manutenção.
Geomanta (biomanta + malha hexagonal)	<ul style="list-style-type: none"> • Facilita a infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial após a recuperação ambiental completa; • Melhor inserção ambiental e social com aspecto de canal natural; • Suporta maiores velocidades e impactos; • Fácil implantação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de manutenção.
Enrocamento lançado	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade para implantação; • Não necessita de mão de obra especializada; • Integra o meio ambiente; • Sem necessidade de manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de atendimento nas faixas granulométricas indicadas.
Gabião tipo colchão	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturas flexíveis, acompanhando os possíveis recalques na fundação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mão de obra especializada; • Possibilidade de desgaste e/ou corrosão da malha que envolve as pedras a longo prazo; • Necessidade de manutenção;
Gabião tipo colchão com revestimento de concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturas flexíveis, acompanhando os possíveis recalques na fundação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mão de obra especializada; • Menor possibilidade de desgaste e/ou corrosão da malha que envolve as pedras a longo prazo; • Necessidade de manutenção.
Gabião tipo colchão com geomembrana impermeabilizante	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturas flexíveis, acompanhando os possíveis recalques na fundação; • Elimina infiltração de água na região do canal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mão de obra especializada, principalmente para instalação e solda da geomembrana; • Possibilidade de desgaste e/ou corrosão da malha que envolve as pedras a longo prazo; • Menor absorção de recalques pela geomembrana;

REVESTIMENTO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Gabião caixa	<ul style="list-style-type: none"> Estruturas flexíveis, acompanhando os possíveis recalques na fundação; Fácil construção. 	<ul style="list-style-type: none"> Mão de obra especializada; Possibilidade de desgaste e/ou corrosão da malha que envolve as pedras a longo prazo; Necessidade de manutenção.
Pedra argamassada	<ul style="list-style-type: none"> Facilidade para implantação; Não necessita de mão de obra especializada. 	<ul style="list-style-type: none"> Necessidade de manutenção; Inserção ambiental e social pouco natural (antrópica); Não resiste a altas velocidades ou lâminas elevadas.
Concreto	<ul style="list-style-type: none"> Velocidades admissíveis de escoamento elevadas; Seções hidráulicas reduzidas. 	<ul style="list-style-type: none"> Revestimento rígido, sem flexibilidade, propenso a ocorrência de trincas devido a possíveis recalques na fundação; Implantação de maior complexidade; Inserção ambiental e social pouco natural (antrópica).
Geocélula preenchida com concreto	<ul style="list-style-type: none"> Velocidades admissíveis de escoamento elevadas; Seções hidráulicas reduzidas. 	<ul style="list-style-type: none"> Revestimento rígido, sem flexibilidade, propenso a ocorrência de trincas devido a possíveis recalques na fundação; Implantação de maior complexidade; Inserção ambiental e social pouco natural (antrópica).
Gabião caixa	<ul style="list-style-type: none"> Estruturas flexíveis, acompanhando os possíveis recalques na fundação; Fácil construção. 	<ul style="list-style-type: none"> Mão de obra especializada; Possibilidade de desgaste e/ou corrosão da malha que envolve as pedras a longo prazo; Necessidade de manutenção.

Tendo em vista que obras de descaracterização de barragens possuem importantes condicionantes ambientais e partem do pressuposto de mínimo monitoramento possível, escolheu-se o revestimento em pedra argamassada para os canais periféricos; e gabião tipo colchão para o canal principal, de forma a combinar material que possuísse resistência às deformações de solo de base quando atravessasse o rejeito, facilidade de execução e razoável custo. As soluções mais simples, que seriam apenas o revestimento em grama, biomanta ou geomanta com malha hexagonal, foram descartadas por não resistirem às velocidades de escoamento calculadas para os canais.

11.2.2 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Hidraulicamente, a força motriz dos escoamentos em canais abertos quase sempre se mantém constante no tempo, abrindo a possibilidade de uma resposta

igualmente constante no tempo; em outras palavras, um escoamento do tipo permanente.

Dentro do escoamento permanente, o dimensionamento hidráulico de canais é usualmente efetuado na hipótese de regime uniforme de escoamento. Assim, para o cálculo da lâmina d'água, foi utilizada a fórmula de Manning combinada com a equação da continuidade, conforme apresentada na Equação 11.

$$\text{Equação (11)} \quad Q_{\text{proj}} = \frac{1}{n} \times A \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Na qual:

A_m : área molhada da seção transversal, em m^2 ;

R_h : raio hidráulico do dispositivo de drenagem, em m;

I : declividade de fundo do canal, em m/m;

Q_{proj} : vazão de projeto, em m^3/s ;

n : coeficiente de rugosidade de Manning.

Para o dimensionamento dos canais, considerou-se o coeficiente de rugosidade de 0,025 para a pedra argamassada; e 0,022 para gabião tipo colchão enchidos com material bem selecionado e colocado em obra com muito cuidado, segundo recomendações inseridas em Maccaferri (2017). Esta recomendação está presente nas especificações técnicas construtivas deste projeto (Fonntes, 2021, FG-2157-HIN-BA-ET01).

Para todos os casos, considerou-se a declividade longitudinal de 0,75%, uma vez que, especialmente para os canais a serem implantados sobre a praia de rejeitos aterrada deve-se aceitar pequenas deformações e garantir o escoamento por gravidade. Adotou-se pedra argamassada para trechos de menores vazões, onde a velocidade do fluxo de água é menor, com a velocidade máxima de 3,0 m/s; e gabião tipo colchão para trechos de maiores vazões, com velocidades admissíveis variando conforme o diâmetro médio das pedras e a espessura do revestimento, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Velocidades crítica e limite para gabiões tipo colchão e caixa (Fonte: Maccaferri, 2017).

TIPO	ESPESSURA (M)	PEDRAS DE ENCHIMENTO		VELOCIDAD E CRÍTICA ³ (M/S)	VELOCIDAD E LIMITE ⁴ (M/S)
		DIMENSÕES (MM)	D50 (M)		
Gabião tipo colchão	0,17	70 a 100	0,085	3,50	4,20
		70 a 150	0,110	3,80	4,50
	0,23	70 a 100	0,085	3,70	4,50
		70 a 150	0,100	4,10	4,90
	0,30	70 a 120	0,100	4,00	4,70
		100 a 150	0,125	4,30	5,00
Gabião caixa	0,50	100 a 200	0,150	4,90	5,80
		120 a 250	0,190	5,50	6,40

³ Velocidade crítica é aquela que provoca a condição de início de movimento nas pedras do revestimento.

⁴ Velocidade limite é aquela que pode ser suportada pelo revestimento por curtos períodos, admitindo-se pequenos movimentos das pedras no interior das telas.

O dimensionamento dos canais teve como premissa, ainda, a majoração da vazão de projeto em 30% como critério de borda livre. Neste caso, a altura máxima dos canais foi fixada com a profundidade de escoamento calculada conforme a Equação 12, de acordo com recomendações de CETESB (1980).

$$\text{Equação (12)} \quad Q_{\text{dimens}} = 1,30 \times Q_{\text{calc}}$$

Na qual:

Q_{dimens} : vazão de projeto utilizada no dimensionamento, em m³/s;

Q_{calc} : vazão calculada pela transformação chuva-vazão, em m³/s.

12 RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO

Neste item, são apresentados os resultados do estudo de trânsito de cheias realizado para o projeto de descaracterização da Barragem do Marzagão. Subsidiado a esta modelagem hidrológica, também é apresentado o dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem componentes do sistema – seja os canais de drenagem periféricos e principal a serem construídos no reservatório aterrado, seja a adequação do canal extravasor frente à cheia afluyente

à bacia hidrográfica.

12.1 SIMULAÇÃO DE TRÂNSITO

A partir da sequência metodológica apresentada no item 11.1, foram calculadas, para cada uma das sub-bacias mencionadas, as vazões afluentes derivadas da precipitação com tempo de retorno de 500 anos. Foram usados os valores de tempo de concentração presentes na Tabela 3 e de CN presentes na Tabela 5 com as metodologias de cálculo pertinentes.

Em posse do modelo hidrológico representado pela Figura 13, procedeu-se para a simulação do trânsito de cheias, considerando as durações de precipitação representadas na Tabela 6 para o tempo de retorno de 500 anos em toda a bacia hidrográfica. A Tabela 11 apresenta as vazões para cada uma das sub-bacias inseridas no modelo hidrológico da Barragem do Marzagão, assim como as vazões majoradas em 30% para o dimensionamento dos canais de drenagem, como explicitado no item 11.2.2.

Tabela 11 – Vazões de projeto para as sub-bacias dos canais de descaracterização da Barragem do Marzagão.

SUB-BACIA	ÁREA DE DRENAGEM ACUMULADA (KM ²)	DURAÇÃO CRÍTICA	VAZÃO DE PROJETO (M ³ /S)	
			SEM MAJORAÇÃO	COM MAJORAÇÃO
CN-01	0,345	1 hora	7,23	9,40
CN-02	0,599	2 horas	11,70	15,21
CN-03	0,090	1 hora	2,07	2,69
CN-04	0,095	1 hora	2,19	2,85
CP-01A	1,444	2 horas	20,24	26,31
CP-01B	1,625	2 horas	30,64	39,83
CP-01C	2,570	2 horas	49,53	64,39
CP-01D	2,956	2 horas	57,65	74,95
CP-01E	3,090	2 horas	60,21	78,27

A Figura 17 e a Figura 18 indicam os hidrograma de cheia para os canais periféricos e os trechos do canal principal, respectivamente.

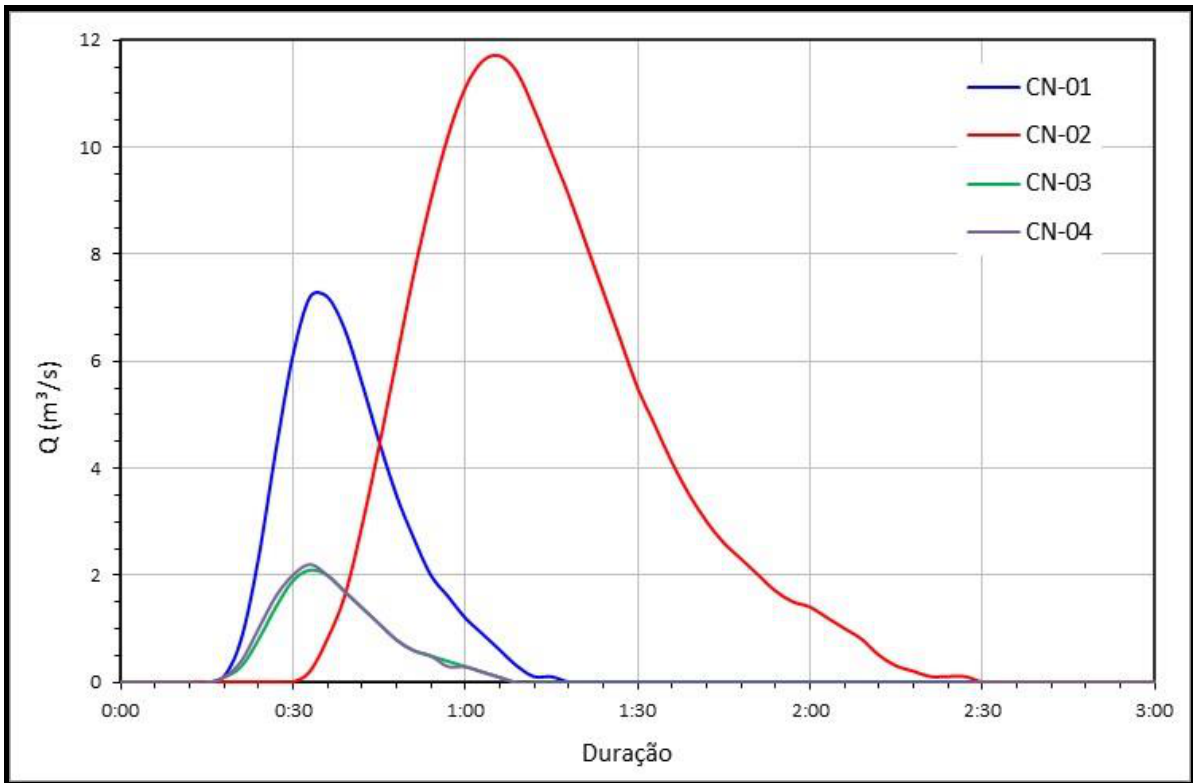


Figura 17 – Hidrogramas de cheia para os canais periféricos.

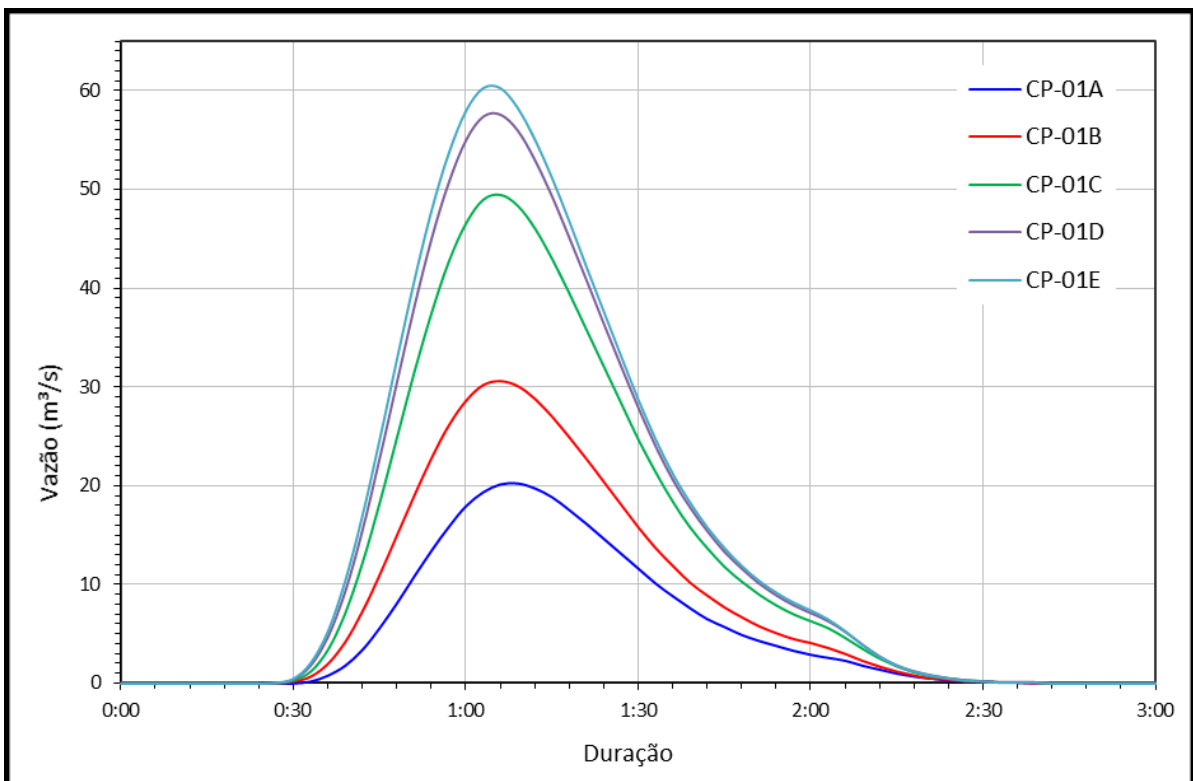


Figura 18 – Hidrogramas de cheia para os trechos do canal principal.

Os canais de drenagem foram, portanto, dimensionados pela equação de Manning sob a hipótese de regime uniforme para a vazão majorada em 30%.

A Tabela 12 apresenta o resultado obtido no dimensionamento dos trechos dos canais periféricos e principal para o sistema de drenagem a ser construído sobre o reservatório aterrado, obtido a partir da fórmula de Manning indicada na Equação 11. A declividade longitudinal adotada foi de 0,75%, como mencionada no item 11.2.2, com a declividade das paredes de 1,5H:1V.

Tabela 12 – Dimensionamento dos canais de drenagem para a descaracterização da Barragem do Marzagão.

ESTRUTURA	REVESTIMENTO	BASE (M)	ALTURA (M)	PROFUNDIDADE (M)	VELOCIDADE (M/S)
CN-01	Pedra argamassada	1,50	1,20	1,13	2,60
CN-02	Pedra argamassada	1,75	1,40	1,37	2,93
CN-03	Pedra argamassada	1,00	0,70	0,69	1,90
CN-04	Pedra argamassada	1,00	0,80	0,71	1,92
CP-01A	Gabião tipo colchão	2,00	1,70	1,62	3,67
CP-01B	Gabião tipo colchão	2,50	2,00	1,90	3,92
CP-01C	Gabião tipo colchão	2,75	2,30	2,27	4,60
CP-01D	Gabião tipo colchão	3,00	2,40	2,39	4,77
CP-01E	Gabião tipo colchão	3,00	2,50	2,44	4,83

Baseada nas velocidades de escoamento, a Tabela 13 consta o diâmetro médio das pedras e a espessura do revestimento, calculados conforme a metodologia presente no item 11.2.2 e nas velocidades limite e crítica para gabiões tipo colchão da Tabela 10.

Tabela 13 – Dimensionamento do diâmetro médio do enrocamento e da espessura dos revestimentos em gabião tipo colchão.

CANAL	VELOCIDADE (M/S)	D50 (M)	ESPESSURA (M)
CP-01A	3,7	0,100	0,17
CP-01B	3,9	0,100	0,30
CP-01C	4,6	0,125	0,30
CP-01D	4,8	0,125	0,30
CP-01E	4,8	0,125	0,30

Foi dimensionado para o escoamento da vazão de projeto de 17,7 m³/s, obtida considerando o amortecimento de cheias pelo reservatório.

Sem o amortecimento de cheias, a vazão é integralmente direcionada para jusante; no último trecho do canal principal de drenagem de descaracterização, CP-01E, é prevista a vazão de 60,50 m³/s associada ao tempo de retorno de 500 anos. Como demonstrado na Tabela 11, este canal foi preliminarmente dimensionado para a vazão de 78,65 m³/s, considerando a majoração de 30% de borda livre.

Visto o exposto, para a conexão do trecho do canal principal CP-01E (seção trapezoidal, base de 3,00 m, altura de 2,50 m, declividade das paredes de 1,5H:1V) ao trecho em degraus (seção retangular, base de 3,00 m, altura de 2,40 m), foi projetada uma transição horizontal (estreitamento da base maior) e vertical (degraus).

Ainda está dimensionada uma bacia de dissipação do sistema de extravasamento da superfície livre da Barragem do Marzagão é do tipo USBR III, dimensionada para o comprimento de 10,14 m, altura de referência de parede de 4,22 m e largura de base de 3,60 m.

13 CONCLUSÃO

As águas pluviais incidentes no reservatório são encaminhadas superficialmente para os canais principais. A declividade adotada foi de 1% para o reservatório aterrado, que contempla, além da regularização em rejeito proveniente da planta e da pilha de rejeito filtrado, camada de material drenante e *topsoil*.

Como exposto ao longo do presente relatório técnico, o projeto de desvio parcial possui capacidade de extravasar o córrego Marzagão para um período de

retorno de 500 anos. A intervenção tem finalidades de controle de cheia e desvio do córrego Marzagão. Foi demonstrado que o desvio possui elementos que comprovam a segurança hidráulica da obra e a ausência de impactos ambientais decorrentes do desvio para o curso d'água em si, e principalmente para os usuários deste corpo hídrico ao longo da extensão da derivação, tanto a jusante como a montante.

Desta forma, atendendo os critérios definidos na Portaria IGAM n° 47.705/2019, e as referências do "Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Recursos Hídricos de MG" (IGAM, 2010), solicita-se o deferimento do desvio total do curso d'água, ao longo do córrego Marzagão, com coordenadas geográficas iniciais de Latitude: 20°24'10.081" S; Longitude: 43°33'7.478" O, e finais Latitude: 20°24'1,140" S; Longitude: 43°32'26,060" O O, no Município de Ouro Preto - MG.

14 RESPONSABILIDADE TÉCNICA

O RT por toda a parte técnica do processo de autorização de desvio total no córrego Marzagão pertence a Rafael Batista Gontijo, profissional Engenheiro Ambiental devidamente registrado no CREA: 152.738/D-MG, emitindo a ART MG20232635725.

15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Drenagem urbana – Manual de projeto. São Paulo: CETESB, 1980.

COPASA (2001). EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV, VIÇOSA-MG, 65 P;

CPRM (2013). ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL: LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE. ORG. POR PINTO, E.J.A., SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM, BELO HORIZONTE MG;

DECRETO Nº 47.383, DE 02 DE MARÇO DE 2018 - Estabelece normas para licenciamento ambiental, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades.

DECRETO Nº 47.705, DE 4 DE SETEMBRO DE 2019 - Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA CERH - MG Nº 07, DE 4 NOVEMBRO DE 2002 - Estabelece a classificação dos empreendimentos quanto ao porte e potencial poluidor, tendo em vista a legislação de recursos hídricos do Estado de Minas Gerais, e dá outras providências.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS (EHR); PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA. SisCCoH: Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos. Versão 1.1. Belo Horizonte: UFMG, 2019.

HIDRÁULICA APLICADA, ABRH, 2003;

INSTRUÇÃO DE SERVIÇO SISEMA 02/2020 - REVISÃO 04- Procedimentos para Regularização dos Usos de Recursos Hídricos de Minas Gerais.

INTRODUZINDO HIDROLOGIA - COLLISCHONN, WE TASSI, R. UFRGS - MARGO. 2010;

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J.B. NOVA ABORDAGEM PARA CÁLCULO DE ESPAÇAMENTO ENTRE TERRAÇOS. IN: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1989, CAMPINAS. ANAIS... CAMPINAS: FUNDAÇÃO CARGILL, 1989. P. 99-124;

MANUAL TÉCNICO E ADMINISTRATIVO DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (IGAM, 2010);

MATOS, A., SILVA, D., PRUSKI, F. BARRAGENS DE TERRA DE PEQUENO PORTE. UFV – VIÇOSA – MG;

NAGHETTINI, M. C. Notas de Aula de Hidrologia Aplicada, Escola de Engenharia da UFMG, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG, 1999.

PORTARIA IGAM Nº 48, DE 04 DE OUTUBRO DE 2019 - Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.

SARTORI, A. Desenvolvimento de critérios para classificação hidrológica de solos e determinação de valores de referência para o parâmetro CN. 2010. 235 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [s. l.], v. 10, n.1, p. 5-23, 2005.

SCS – SOIL CONSERVATION SERVICE. NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK, USDA, 1972;

TUCCI, C. E. M. HIDROLOGIA: CIÊNCIA E APLICAÇÃO. PORTO ALEGRE: EDITORA DA UFRGS, ABRH, 1993;

UFV (2006). PLUVIO 2.1: CHUVAS INTENSAS PARA O BRASIL. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). HEC-HMS: Hydrologic Modelling System. Versão 4.7.1. Estados Unidos: Davis, 2020.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). HEC-RAS: River Analysis System. Versão 6.1. Estados Unidos: Davis, 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV); FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC); UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFL); FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida. Belo Horizonte: FEAM, 2010.

WILLIAMS, G. B. Flood discharge and the dimensions of spillways in India. The Engineer, v. 121, n. 9, p. 321-322, 1922.